

**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL  
KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND)  
DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE  
ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**M.Sc. Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA**  
**Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Ana Bilim Dalı**

**Danışman**  
**Prof.Dr. Erol SARI**

**ARALIK, 2020**

**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL  
KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND)  
DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE  
ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**M.Sc. Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA**  
**Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Ana Bilim Dalı**

**Danışman**  
**Prof.Dr. Erol SARI**

**ARALIK, 2020**



“Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FBA-2018-29524”

## Onay Sayfası

T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

TUĞÇE NAGİHAN ARSLAN-KAYA tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND) DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez DENİZ JEOLJİSİ VE JEOFİZİĞİ Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**  
Prof. Dr. Erol SARI

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Nurgül ÇELİK-BALCI

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Sabah YILMAZ-ŞAHİN

**Jüri Üyesi**  
Prof. Dr. Önder KILIÇ

**Tez Savunma Tarihi:** 31.12.2020

## ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND) DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE ARAŞTIRILMASI” başlıklı DOKTORA tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

10.11.2020

Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA

## ÖNSÖZ

Bu tez 2014-2020 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim dalına “GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND) DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE ARAŞTIRILMASI” başlığıyla doktora tezi olarak takdim edilmiştir.

Doktora tezimin bütün aşamalarında ve bilimsel diğer çalışmalarında her türlü destek, yardım ve katkılarını esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Erol SARI'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında gerek İTÜ-EMCOL bünyesindeki laboratuvar imkanlarını sunan gereksede bilimsel katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Kürşad Kadir ERİŞ'e, örnekleme ve analiz kısmında yardımlarını esirgemeyen Uzman Dursun Acar ve laborant Suat ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Mineralojik analiz sırasında ince kesitlerimin tanımlanması ve yorumlanmasında bana katkıda bulunan, laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan ve ayrıca manevi desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sabah YILMAZ-ŞAHİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora ders ve tez aşamalarında katkılarını esirgemeyen enstitümüz öğretim üyelerine ve doktora tez ilerleme raporlarını değerlendiren jüri üyelerime teşekkür ederim. Karot örneklerinin alınmasında katkı ve emeklerini esirgemeyen İstanbul Üniversitesi ARAR-II gemisi kaptanları ve personel ekibine teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim boyunca maddi ve manevi imkanlarını esirgemeyen, daima destek ve anlayış gösteren sevgili eşim Fatih Kaya ve ailem Selami Arslan, Gülay Arslan, İlhami Arslan ve Buse Arslan'a, sevgili arkadaşım Narin Sezer'e teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ .....                                                                       | i     |
| ÖZET .....                                                                        | iv    |
| ABSTRACT.....                                                                     | v     |
| TABLO LİSTESİ.....                                                                | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                | vii   |
| SİMGE LİSTESİ.....                                                                | ix    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                            | x     |
| 1. GİRİŞ .....                                                                    | 1     |
| 1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı .....                                                 | 3     |
| 1.2. Literatür Araştırması .....                                                  | 4     |
| 1.3. Çalışma Alanı ve Coğrafik Durumu .....                                       | 7     |
| 1.4. Çalışma Alanının Jeolojisi .....                                             | 10    |
| 1.5. Oşinografik ve Hidrografik Özellikler .....                                  | 13    |
| 1.6. Marmara Denizi Geç Pleyistosen-Holosen Dönemi Paleoşinografisi .....         | 15    |
| 1.7. Marmara Denizi Çevresinin Sanayi ve Endüstri Özellikleri.....                | 16    |
| 2. MATERYAL VE METOT .....                                                        | 21    |
| 2.1. Deniz Tabanından Örnek Alınması ve Hazırlanması .....                        | 21    |
| 2.2. Karotlarda Sedimentolojik Analizler .....                                    | 22    |
| 2.2.1. Çok sensörlü karot log alıcısı analizi (MSCL) .....                        | 22    |
| 2.2.2. Tane boyu analizi .....                                                    | 22    |
| 2.3. Karotlarda Jeokimya Analizleri .....                                         | 24    |
| 2.3.1. XRF karot tarayıcısı analizi .....                                         | 24    |
| 2.3.2. Toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon analizleri (TOK-TİK)...25 |       |
| 2.3.3. Metal analizi.....                                                         | 27    |
| 2.3.4. Sediment kirlilik değerlendirme .....                                      | 28    |
| 2.3.4.1. Zenginleşme faktörünün (EF) hesaplanması .....                           | 29    |
| 2.3.4.2. Kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplaması .....    | 30    |
| 2.3.4.3. Sediment kalitesi sınıflaması (SQG).....                                 | 31    |
| 2.3.4.4. İstatistiksel analizler.....                                             | 32    |
| 2.3.4. Cıva analizi .....                                                         | 32    |
| 2.3.5. <sup>14</sup> C tarihleme metodu .....                                     | 32    |
| 2.4. Mineralojik Analizler .....                                                  | 33    |
| 3. BULGULAR.....                                                                  | 34    |
| 3.1. Karotların Litostratigrafi .....                                             | 34    |
| 3.1.1. İzmit körfezi karotlarının litolojisi .....                                | 34    |
| 3.1.2. Gemlik körfezi karotlarının litolojisi .....                               | 37    |
| 3.2. Karotların Kronolojisi .....                                                 | 40    |
| 3.3. Karotların Fiziksel Özellikleri .....                                        | 41    |
| 3.3.1. İzmit Körfezi karotları .....                                              | 41    |
| 3.3.2. Gemlik Körfezi karotları .....                                             | 43    |
| 3.4. Tane Boyu Dağılımı.....                                                      | 46    |
| 3.5. Jeokimya Analizleri .....                                                    | 51    |
| 3.5.1. Toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon analizleri.....           | 51    |
| 3.5.2. XRF karot tarayıcı analizleri.....                                         | 56    |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.3. Metal analizi ve element jeokimyası.....                           | 61  |
| 3.5.4. Toplam cıva analizi.....                                           | 72  |
| 3.6. Karotların Mineralojisi.....                                         | 73  |
| 4. TARTIŞMA VE YORUMLAR.....                                              | 79  |
| 4.1. Karotların Korelasyonu ve Kronolojisi.....                           | 79  |
| 4.2. İzmit ve Gemlik Körfezleri Ağır Metal Birikimi ve Tarihçesi .....    | 81  |
| 4.3. Ağır Metal Kirlilik Kaynağı.....                                     | 86  |
| 4.4. Ağır Metallerin Canlı Sağlığına Etkisi .....                         | 92  |
| 4.5. Metal Sonuçlarının Daha Önceki Çalışmalar İle Karşılaştırılması..... | 94  |
| 5. SONUÇLAR.....                                                          | 96  |
| KAYNAKLAR .....                                                           | 99  |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                            | 110 |
| FORMLAR                                                                   |     |
| Tez çalışması benzerlik raporu uygunluk yazısı ve eki                     |     |

## ÖZET

### GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZİ AĞIR METAL KİRLİLİK TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND) DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE ARAŞTIRILMASI

**Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA**

Bu çalışmada İzmit ve Gemlik Körfezlerinin ağır metal kirlilik tarihçesi ve boyutları araştırılmıştır. Bunun için İzmit Körfezi'nden iki (İZ17 ve İZ30) ve Gemlik Körfezi'nden üç (MD22A, MD89A ve MD88) adet gravite karot kullanılmıştır. Alınan gravite karotlarında sedimantolojik ve jeokimyasal analizler yapılarak çökellerin temel (background) metal değerleri ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda metal analizi, toplam organik karbon (TOK), toplam inorganik karbon (TİK), tane boyu analizi, toplam cıva analizi (THg) ve minaralojik analizler yapılmıştır. C-14 yaşlandırma analizi ile çökellerin kirlilik tarihçeleri tespit edilmiştir. İZ17 karot çökellerinin background ve ortalama (parantez içinde) değerleri 71947,5 (73010 Al), 177,2 (150,3 Cr), 19 (19,7 Co), 28,7 (35 Cu), 74 (122,7 Zn), 27,3 (28 As), 30 (43,8 Pb), 2009 (2184,4 Mn), 78,6 (81,5 Ni), 0,08 (0,4 Hg) ve 45495 (47608,5 Fe) mg.kg<sup>-1</sup> iken İZ30 karotunun 22119 (19900,5 Al), 43,4 (62,5 Cr), 5 (3,9 Co), 8,5 (11,7 Cu), 20,5 (27,6 Zn), 4,1 (3,5 As), 11,5 (17,7 Pb), 124,6 (109,6 Mn), 0,14 (1,1 Hg) ve 12,5 (11,3 Ni) mg.kg<sup>-1</sup>'dir. C-14 yaş verileri İZ17 karot çökellerinin ~1965 yılından itibaren Cu ile orta derecede, Zn ve Pb ile ciddi derecede kirletildiğini göstermektedir. Gemlik Körfezinden MD22A, MD89A ve MD88 karotları sırasıyla -38, -38 ve -68 m su derinliklerinden alınmıştır. Metal background ve ortalama (parantez içi) değerleri MD22A için Al: 27373,8 (20519), Ni: 81 (141,9), Cr: 92,5 (139,7), Cu: 31,7 (40), Zn: 48,3 (95,2), Pb: 19,4 (37,3), Co: 16,7 (24,4), Hg: 0,07 (0,1), MD89A için Cr: 103,3 (99,1), Co: 22,3 (21,2), Pb: 21,2 (24,8), Cu: 32,8 (37,4), Zn: 65,6 (71,2), Hg: 0,08 (0,1) Mn: 243 (208,3); MD88 için Al:23958 (23902), Cr: 96,3 (72,8), Mn: 321,6 (236,9), Co: 5,3 (7,2), Cu: 5,9 (8,9), Zn: 35,3 (36,1), As: 8,7 (7,1), Hg: 0,06 (0,08) ve Pb: 19,3 (32,7) mg.kg<sup>-1</sup>'dir. C-14 yaş verisine göre kirlilik başlangıç tarihi 1788 yılıdır.

**Anahtar kelimeler:** Ağır metal, karot, metal analizi, kirlilik, C-14 yaşlandırma

## ABSTRACT

### INVESTIGATION THE HISTORY OF HEAVY METAL POLLUTION AND BACKGROUND VALUES OF THE GEMLIK AND IZMIT BAYS USING CORE SEDIMENT

**Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA**

In this study, heavy metal pollution history and the degree of pollution status of İzmit and Gemlik Gulfs were investigated using two sediment cores (IZ17, IZ30) from İzmit Gulf and three sediments cores (MD89A, MD88, MD22A) from Gemlik Gulf. The heavy metals background values of core sediments were determined by sedimentological and geochemical analysis. In this context, total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC), grain size, total mercury (THg), and mineralogical analysis were performed. Geochronology of heavy metal pollution in core sediments from Gemlik and İzmit Gulf were investigated by C-14 age dating. Background and average (in parenthesis) heavy metal concentrations of IZ17 core sediments were 71947,5 (73010 Al), 177,2 (150,3 Cr), 19 (19,7 Co), 28,7 (35 Cu), 74 (122,7 Zn), 27,3 (28 As), 30 (43,8 Pb), 2009 (2184,4 Mn), 78,6 (81,5 Ni), 0,1 (0,4 Hg) and 45495 (47608,5 Fe) mg.kg<sup>-1</sup> while of IZ30 core were 22119 (19900,5 Al), 43,4 (62,5 Cr), 5 (3,9 Co), 8,5 (11,7 Cu), 20,5 (27,6 Zn), 4,1 (3,5 As), 11,5 (17,7 Pb), 124,6 (109,6 Mn), 0,1 (1,1 Hg) and 12,5 (11,3 Ni) mg.kg<sup>-1</sup>. C-14 age date show that the core deposits of IZ17 have been moderate enrichment with Cu and significant enrichment with Zn and Pb since ~1965. The MD22A, MD89A, and MD88 cores taken from different locations of Gemlik Gulf from -38, -38, and -68 m water depths, respectively. Metal background and average values (in parenthesis) for MD22A were; Al: 27373,8 (20519), Ni: 81 (141,9), Cr: 92,5 (139,7), Cu: 31,7 (40), Zn: 48,3 (95,2), Pb: 19,4 (37,3), Co: 16,7 (24,4), Hg: 0,07 (0,1), for MD89A; Cr: 103,3 (99,1), Co: 22,3 (21,2), Pb: 21,2 (24,8), Cu: 32,8 (37,4), Zn: 65,6 (71,2), Mn: 243 (208,3), Hg: 0,08 (0,1) for MD88; Al: 23958 (23902), Cr: 96,3 (72,8), Mn: 321,6 (236,9), Co: 5,3 (7,2), Cu: 5,9 (8,9), Zn: 35,3 (36,1), As: 8,7 (7,1), Hg: 0,06 (0,08), and Pb: 19,3 (32,7) mg.kg<sup>-1</sup>. According to the C-14 age data, date of the starting anthropogenic pollution was 1788.

**Keywords:** Heavy metal, core, metal analysis, pollution, C-14 dating

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 1. Bazı elementlerin canlılar üzerindeki etkileri.....                                                                    | 2     |
| Tablo 2. İl tarım orman müdürlüğü 2018 Kocaeli faaliyet raporuna göre Kocaeli’nde faaliyet gösteren sektörler ve oranları ..... | 19    |
| Tablo 3. Çalışma kapsamında Marmara Denizi’nden alınan karotlara ait bilgiler .....                                             | 21    |
| Tablo 4. Referans numunesinin (NIST SRM 2710) ölçüm sonuçları.....                                                              | 28    |
| Tablo 5. Elementlerin TEL <sup>a</sup> , PEL <sup>a</sup> , ERL <sup>a</sup> ve ERM <sup>a</sup> değerleri .....                | 31    |
| Tablo 6. <sup>14</sup> C Yaş Tayini için örneklerin listesi ve analiz sonuçları .....                                           | 40    |
| Tablo 7. İZ17 ve MD22A karot çökellerinin mineralojisi.....                                                                     | 74    |
| Tablo 8. İzmit ve Gemlik karotlarının element konsantrasyon dağılımları .....                                                   | 84    |
| Tablo 9. İZ17 karotu elementlerinin Pearson korelasyon katsayısı.....                                                           | 87    |
| Tablo 10. İZ17 karotu elementlerinin PCA analizi.....                                                                           | 90    |
| Tablo 11. MD22A karotu elementlerinin korelasyon katsayısı .....                                                                | 91    |
| Tablo 12. MD22A karotu elementlerinin PCA analizi .....                                                                         | 91    |
| Tablo 13. Çalışma kapsamındaki metal değerlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması (mg.kg <sup>-1</sup> ).....            | 95    |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                 | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1. Marmara Denizi ve çevresi batimetri haritası.....                                                                                                                                                                      | 7     |
| Şekil 2. Gemlik Körfezi ve çevresi jeolojik haritası.....                                                                                                                                                                       | 8     |
| Şekil 3. (A) Çalışma alanı ve karot yerlerini gösteren basitleştirilmiş uydu haritası, (B) İzmit Körfezi (batı, karamürsel ve gölcük havzaları) ve (C) Gemlik Körfezi detaylı uydu haritası ve drenaj sistemi .....             | 10    |
| Şekil 4. (A) Çalışma alanı neotektonik birlikler (B) İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojik haritası .....                                                                                                                        | 12    |
| Şekil 5. (A) Marmara Denizi'nin yüzey su dolaşımı, (B) Marmara Denizi'nin dip su suyu dolaşımı. ....                                                                                                                            | 13    |
| Şekil 6. Gemlik Körfezi çevresinin drenaj alanı.....                                                                                                                                                                            | 14    |
| Şekil 7. Marmara Denizi çevresindeki nüfus ve endüstri dağılımını gösteren harita. Kırmızı: denize girilmesi sakıncalı, sarı: ölçüm yapılarak denize girilebilen, mavi: denize girilebilir kıyı alanlarını göstermektedir. .... | 18    |
| Şekil 8. İzmit Körfezi liman bölgesinde yer alan liman işletme tesisleri ve karot lokasyonlarını gösteren uydu haritası. ....                                                                                                   | 20    |
| Şekil 9. (A) Tuzlardan arıtılması için saf suda bekletme, (B) 0.063 mm'lik elek üzerinde yıkama işlemi.....                                                                                                                     | 23    |
| Şekil 10. Elek takımı ve lazer saçılımlı sedigraph cihazı .....                                                                                                                                                                 | 24    |
| Şekil 11. Otomatik agat havan.....                                                                                                                                                                                              | 26    |
| Şekil 12. İZ30 karotunun litolojik logu .....                                                                                                                                                                                   | 35    |
| Şekil 13. İZ17 karotunun litolojik logu .....                                                                                                                                                                                   | 36    |
| Şekil 14. MD88 karotunun litolojik logu.....                                                                                                                                                                                    | 37    |
| Şekil 15. MD89A karotunun litolojik logu.....                                                                                                                                                                                   | 38    |
| Şekil 16. MD22A karotunun litolojik logu.....                                                                                                                                                                                   | 39    |
| Şekil 17. Karotların genel kronolojisi.....                                                                                                                                                                                     | 41    |
| Şekil 18. İZ30 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi .....                                                                                                                                         | 42    |
| Şekil 19. İZ17 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi .....                                                                                                                                         | 43    |
| Şekil 20. MD88 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi .....                                                                                                                                         | 44    |
| Şekil 21. MD89A karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi .....                                                                                                                                        | 45    |
| Şekil 22. MD22A karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi .....                                                                                                                                        | 46    |
| Şekil 23. İZ30 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı .....                                                                                                                                                    | 47    |
| Şekil 24. İZ17 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı .....                                                                                                                                                    | 48    |
| Şekil 25. MD88 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı.....                                                                                                                                                     | 49    |
| Şekil 26. MD22A karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı.....                                                                                                                                                    | 50    |
| Şekil 27. MD89A karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil değerlerinin değişimi .....                                                                                                                                      | 51    |
| Şekil 28. İZ30 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı.....                                                                                                                                                                          | 52    |
| Şekil 29. İZ17 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı.....                                                                                                                                                                          | 53    |
| Şekil 30. MD88 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı .....                                                                                                                                                                         | 54    |
| Şekil 31. MD22A karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı .....                                                                                                                                                                        | 55    |
| Şekil 32. MD89A karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı .....                                                                                                                                                                        | 56    |
| Şekil 33. İZ30 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps). ....                                                                                                                                      | 57    |
| Şekil 34. İZ17 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps). ....                                                                                                                                      | 58    |
| Şekil 35. MD88 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps). ....                                                                                                                                      | 59    |
| Şekil 36. MD89A karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps)...60                                                                                                                                      |       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 37. MD22A karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps)...                                                                                                                                                                                                                                          | 61 |
| Şekil 38. İZ30 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 63 |
| Şekil 39. İZ17 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 65 |
| Şekil 40. MD88 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 67 |
| Şekil 41. MD89A karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri.....                                                                                                                                                                                                                                                  | 69 |
| Şekil 42. MD22A karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri.....                                                                                                                                                                                                                                                  | 71 |
| Şekil 43. İZ17 ve İZ30 karot çökellerinin toplam cıva içerikleri .....                                                                                                                                                                                                                                                            | 72 |
| Şekil 44. MD22, MD89A ve MD22A karotları toplam cıva içerikleri.....                                                                                                                                                                                                                                                              | 73 |
| Şekil 45. İZ17 karotu çift nikolde; (A) 50-60 cm'deki kırıntılı bileşenler içerisindeki fosilin, (B) 60-70 cm'deki ince taneli kuvars, feldispat, kireçtaşı bileşenlerinin, (C) 100-110 cm'deki orta-iri taneli, köşeli kuvarsın, (D) 120-130 cm'deki çok ince taneli kuvars, feldispat, kireçtaşı bileşenlerinin görüntüsü ..... | 76 |
| Şekil 46. MD22A karotu çift nikolde; (A) 20-30 cm'deki kırıntılı bileşenler içerisindeki fosilin, (B) 40-50 cm'deki kireçtaşı, fosil, kuvars bileşenlerinin, (C) 70-80 cm'deki ince-çok ince taneli kireçtaşı, kuvars bileşenlerinin, (D) 150-157 cm'deki kuvarsitin görüntüsü .....                                              | 77 |
| Şekil 47. İZ30 karotu zenginleşme faktörü dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 82 |
| Şekil 48. İZ30 karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 82 |
| Şekil 49. İZ17 karotu zenginleşme faktörü dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 83 |
| Şekil 50. İZ17 karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                     | 83 |
| Şekil 51. MD22A karotu zenginleşme faktörü dağılımı.....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 85 |
| Şekil 52. MD22A karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı .....                                                                                                                                                                                                                                                    | 86 |
| Şekil 53. İZ17 karotu elementlerinin 3 boyutlu PCA analizi .....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 90 |

## SİMGE LİSTESİ

|    |                    |
|----|--------------------|
| °C | : Santigrad derece |
| ~  | : Yaklaşık         |
| μ  | : Mikron           |
| μm | : Mikrometre       |
| %  | : Yüzde            |
| ‰  | : Binde            |



## KISALTMA LİSTESİ

|                      |                                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| AMS                  | : Accelerator Mass Spectrometry                                     |
| By                   | : Bin yıl                                                           |
| cm                   | : Santimetre                                                        |
| cm/sa                | : Santimetre/saat                                                   |
| CF                   | : Contamination faktor (kirlilik faktörü)                           |
| Cps                  | : Count per second                                                  |
| Dk                   | : Dakika                                                            |
| EF                   | : Enrichment Faktor (Zenginleşme faktörü)                           |
| EPA                  | : European Parliamentary Association (Avrupa parlamenterler örgütü) |
| g                    | : Gram                                                              |
| g/cm <sup>3</sup>    | : Gram/santimetreküp                                                |
| ICP-OES              | : İndüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometresi             |
| ICP-MS               | : İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi                     |
| KAF                  | : Kuzey anadolu fayı                                                |
| km                   | : Kilometre                                                         |
| km <sup>2</sup>      | : Kilometrekare                                                     |
| km <sup>3</sup> /yıl | : Kilometreküp/yıl                                                  |
| m                    | : Metre                                                             |
| mm                   | : Milimetre                                                         |
| ml                   | : Mililitre                                                         |
| m <sup>3</sup>       | : Metreküp                                                          |
| mg/l                 | : Miligram/litre                                                    |
| mm/yıl               | : Milimetre/yıl                                                     |
| MS                   | : Magnetic susceptibility (Manyetik duyarlılık)                     |
| MSCL                 | : Multi sensor core logger                                          |
| Mak                  | : Maksimum                                                          |
| Ort                  | : Ortalama                                                          |
| PCA                  | : Principal component analysis                                      |
| PLI                  | : Pollution load index (Kirlenme yük indeksi)                       |
| Ppm                  | : Parts per million (milyonda bir)                                  |
| Ppb                  | : Part per thousand (binde bir)                                     |
| PAH                  | : Polisiklik aromatik hidrokarbon                                   |
| r                    | : Korelasyon katsayısı                                              |
| SQG                  | : Sediment quality guideline                                        |
| THg                  | : Toplam cıva                                                       |
| TİK                  | : Toplam inorganik karbon                                           |
| TOK                  | : Toplam organik karbon                                             |
| Tübitak-MAM          | : Tübitak-Marmara Araştırma Merkezi                                 |
| Qort                 | : Ortalama debi                                                     |
| XRF                  | : X-Ray Fluorescence                                                |
| XRF-EDS              | : X-ışınları floresans – enerji saçınım spektroskopisi              |

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda artan endüstrileşme ve kentleşme ile denizlerimiz, göllerimiz ve birçok sucul alanlarımız kirlenme tehdidiyle karşı karşıya kalmaktadır. Kirletici unsurlar çeşitli yollar ile denizlerimize ve göllerimize taşınmaktadır. Özellikle ağır metaller bu kirleticilerin temelini oluşturmaktadır. Ağır metaller, gerek akarsu ve nehirler ile sucul ortama drene olması gerekse de atmosferde toz parçacıklarına tutunarak zaman içinde denizel ortamda depolanırlar (Sarı, 2008). Ağır metaller sadece denizel sedimentlerde depolanmazlar. Aynı zamanda denizel ortamda yaşayan çeşitli canlı organizmaların yapısında da birikme eğilimi gösterirler (Kılıç ve diğerleri, 2018). Dolayısıyla besin zincirine katılırlar ve insan sağlığına olumsuz etki oluşturmaları (Tablo 1). Ağır metaller; maden işletmeciliği, fosil yakıtlar, kentsel ve endüstriyel atık sular, toprak erozyonu, atmosferdeki gazlar, akarsular, tarımda kullanılan çeşitli kimyasallar, akarsular ve denizaltı volkanik aktiviteleri gibi yollarla denizlere, okyanuslara ve göllere taşınarak ekolojik çevreyi olumsuz etkilemektedirler. Ağır metaller çeşitli süreçler sonucu zamanla göl ve deniz tabanlarında depolanırlar. Deniz tabanı çökellerinde yapılan çalışmalar, depolanma alanları üzerindeki doğal süreçlerin ve antropojenik etkilerin ortaya çıkarılması için son derece etkili bir araç haline gelmiştir (Seshan ve diğerleri, 2010). Jeokimyasal olarak incelenen karot çökelleri aynı zamanda sucul sistemlerin kirlilik değerlendirmesi, iklim koşullarının değişimi ve sedimantasyon hızı ile ilgili bilgiler verir (Karbassi ve diğerleri, 2008; Sarı ve diğerleri, 2018; Sarı ve diğerleri, 2020). Karot çökelleri üzerinde yapılan jeokimyasal ve sedimantolojik çalışmalar ile günümüz ve geçmiş hakkında bilgi edinmek olasıdır. Denizel ortamlardan alınan karot örnekleri düşey profil boyunca ağır metallerin depolanma süreçlerindeki bütün değişim kayıtlarını içerirler (Sarı ve diğerleri, 2018). Karot çökellerinin üst kısmı güncel kirliliği yansıtırken alt seviyeler geçmiş jeolojik tarihlerdeki kirliliği yansıtmaktadır (Seshan ve diğerleri, 2010).

Tablo 1. Bazı elementlerin canlılar üzerindeki etkileri (Çağatay ve diğerleri (2006)'dan alınmıştır).

| Element   | Yüksek değerlerin neden olduğu sağlık sorunları                                                                                       | Canlılar için yararları                                                                    | Kaynak                                                                                                 |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pb</b> | Pb zehirlenmesi; beyin ve sinir sistemi ile kalp ve kanda bozulmalar                                                                  | Bilinen yararı yok                                                                         | Callender (2003), USEPA (2000a,b)                                                                      |
| <b>Zn</b> | Sucul organizmalar için diğer ağır metallere göre daha az zehirli. Enzim bozuklukları, yaraların tedavisinde zorluklar                | Mikro-besin: DNA polimerizasyonu ve sinir sistemi için önemlidir.                          | Sunda (1991), Pacyna (1996)                                                                            |
| <b>Cd</b> | İtai-itai hastalığı (kemiklerde Cd'un Ca'un yerini alması), karaciğer ve böbrek bozukluğu                                             | Mikro-besin                                                                                | Callender (2003), Nriagu (1980a), Boyle vd.,(1976)                                                     |
| <b>Cr</b> | Cr (VI): Kanserojen                                                                                                                   | Cr(III): gerekli eser element                                                              | Krishnamurty ve Wilkens (1994)                                                                         |
| <b>Cu</b> | Zehirli (>10 ug/L)                                                                                                                    | Mikro-besin ve enzim bileşenidir.                                                          | Leckie ve Davies (1979)                                                                                |
| <b>Ni</b> | Kanserojen                                                                                                                            | Mikro-besin: enzim bileşenidir.                                                            | Nriagu (1980b), Callender (2003)                                                                       |
| <b>As</b> | Zehirli ve kanserojen (deri, akciğer ve mesane kanseri), deri hastalıkları, kalp ve damar hastalıkları, solunum ve şeker hastalıkları | Fazla bilinmiyor.                                                                          | Tan (1989); National Research Council (1999); Smith vd., (2002); Plant vd., (2003); Duker vd., (2005). |
| <b>Mo</b> | Karaciğer ve kan kanseri, kas ve kemik hastalıkları, yüksek tansiyon, sindirim bozuklukları                                           | Vücutta demir miktarı düzenleyici, değişik metabolizmalarda önemli enzimlerin bileşenidir. | Wei vd., (1985); Reinmann ve Caritat (1988).                                                           |
| <b>Sn</b> | Organo-kalay bileşikler (triaryl-Sn gibi) zehirli ve kanserojen                                                                       | Bilinmiyor                                                                                 | Blunden vd., (1984); Boyer (1989); Gomez-Ariza vd., (2001).                                            |
| <b>Sb</b> | Kanserojen; böbrek, karaciğer ve kalp hastalıkları, kusma ve mide ağrısı, erken doğum                                                 | Bazı enzimlerin bileşeni                                                                   | Friberg vd., (1979); Groth vd., (1986).                                                                |

Güncel kirlilik olarak nitelendirdiğimiz çökellerin üst seviyeleri antroposen döneme (0.3 by-günümüz) karşılık gelmektedir. Sanayi devrimi ile birlikte başladığı kabul edilen bu çağda artan endüstrileşme ve sanayileşme ile birlikte kirletici unsurlar da doğru orantıda artmaktadır. Zaman içerisinde oluşan bu kirliliği ortaya çıkarmak için birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır (Algan ve diğerleri, 2004; Sarı ve diğerleri, 2013; Kılıç ve diğerleri, 2014). Literatürde İzmit ve Gemlik Körfezleri ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu yüzey sedimentleri ve bentik organizmalardaki kirliliği kapsamaktadır (Ünlü ve Alpar, 2009; Ünlü ve diğerleri, 2008; Çağatay ve diğerleri, 2006). Paleo-kirlilik çalışmalarında karot çökel örneklerinin kullanılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Zaman içerisinde kirlilik boyutunu daha net ortaya çıkarmak ve ne zaman başladığını düşey profil boyunca gözlemlemek ve yorumlamak açısından oldukça önemlidir.

### **1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Çalışmanın amacı yarı kapalı havza olan İzmit ve Gemlik Körfezlerinin kirlilik tarihçesini ve zaman içindeki kirliliğin boyutlarını ortaya çıkarmaktır. Bu sebeple 2014 yılı, Temmuz ayında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından Arar II gemisiyle yapılan seferde İzmit Körfezi'nden 2 adet ve Gemlik Körfezinden 3 adet gravite karotları alınmıştır (Tablo 2, Şekil 2). Tezin amacına ulaşması için aşağıda listelenen maddeler tez kapsamında yapılmıştır.

1. İzmit ve Gemlik Körfezi'nin çökel jeokimyası (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn, TOK, TİK) ve tane boyutu (çakıl, kum, silt ve kil içeriği) dağılımını belirlemek.
2. Çalışma alanı çökellerinin ağır metal ve background (temel) değerlerini tespit etmek.
3. Ağır metal background değerleri dikkate alınarak zenginleşme faktörü (EF), kirlilik faktörü (CF) ve kirlenme yük indeksi (PLI) parametrelerini hesaplamak ve karot boyunca olası kirliliğin derecesi ve boyutunu ortaya çıkarmak.
4. Sedimentteki metal zenginleşmelerinin boyutunu, nedenlerini ve süreçleri incelemek.
5. C-14 tarihleme yöntemi ile İzmit ve Gemlik Körfezi çökellerini yaşlandırmak ve olası doğal ve/veya antropojenik kökenli kirliliğin yaklaşık ne zaman başladığını belirlemek.
6. Körfezlerin paleokirlilik arşivini ortaya çıkarmak ve ileriki çalışmalar için referans kaynak olmasını sağlamak.

7. Sediment karotlarında XRF karot tarayıcısı ile radyografik görüntüleri elde etmek ve sediment tabakalanmalarını ve gözle tespit edilemeyen laminasyonları ortaya çıkarmak. Ayrıca karot boyunca elementlerin olası değişimlerini yüksek çözünürlükte belirlemek.

## 1.2. Literatür Araştırması

Boyle ve diğerleri (1977a, b); Aston, (1978); Çağatay ve diğerleri, (2006), Karasal ortamdan taşınan doğal ve antropojenik kökenli metallerin büyük bir kısmı denizel ortamda çökellere absorbe olarak haliç, körfez ve şelf alanlarda depolanarak zenginleşme gösterdiğini belirtmişlerdir.

Ergin ve diğerleri (1991), İzmit ve Haliç Körfezinden aldıkları yüzey çökel örneklerinde Fe, Cr, Mn, Ni, Co, Zn, Cu ve Pb konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Zenginleşme faktörü ve jeobirikim indeks verilerine göre İzmit Körfezi çökelleri metal değerleri genel olarak normal değerlere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Ergin ve diğerleri (1993), Marmara Denizinde yüzey çökel örneklerinde toplam organik karbon içeriği ve yüzey suyundaki organik üretim arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Kuzeydoğu şelfinde %0,4-2,1, kuzey şelfinde %0,6-1,6, güney şelfinde %0,4-1,9 ve güneybatı şelfinde %0,4-1,5 Corg içermektedir. Sudaki organik üretim ve oksijen miktarı arasında bir ilişki bulamamıştır.

Çağatay ve diğerleri (1996), Marmara Denizi güney şelfinde yüzey çökellerinin karbonat dağılımı ve TOK dağılımlarını incelemişlerdir. Çalışmada %1,5-2 aralığındaki TOK değerlerinin nehir ağızlarına yakın bölgelerde ve kıyı boyunca gözlenmektedir. Bu dağılımın karasal organik madde girdisine işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Algan ve diğerleri (1999), Marmara Denizinde Yeşilköy-Tuzla arasındaki şelf alanından aldıkları örneklerde Cu, Pb, Zn, Hg, Ni, Cr, Fe, Al ve Mn içeriğini ve ayrıca TOK ve toplam karbonat içeriğini belirlemişlerdir. Çalışmada çökellerin şeyl ortalamasından daha yüksek ağır metal içerdiğini tespit etmişlerdir.

Tolun ve diğerleri (2001), İzmit Körfezi deşarj noktalarına yakın lokasyonlardan çökel örnekleri alarak As, Cd, Pb, Hg, Cu dağılımlarını ve polycyclic aromatic hidrokarbon (PAH) analizi yapmışlardır. Analiz sonucu körfez çökellerinin yüksek oranda Hg, Cd, As içerdiğini ve mikroalg için zehirli olduğunu belirtmişlerdir.

Yaşar ve diğerleri (2001), İzmit Körfezinde ayrıntılı çökel jeokimyası yapmışlardır. Elde edilen sonuca göre Karamürsel ve Gölçük çukurluğundaki çökellerin Ag, Hg, Cd, Mo ve Sb yönünden kirli ve çok kirli olduğunu As, Cu, Co, Pb ve Zn yönünden ise az kirli olduğunu belirtmişlerdir.

Balkıs (2003), Gemlik Körfezinde zenginleşme gösteren ağır metallerin kaynağının mafik ve ultramafik kayalardan olduğunu belirtmiştir.

Topçuoğlu ve diğerleri (2003), Marmara Denizinde makroalglerde Zn, Fe, Mn, Pb ve Cu konsantrasyonlarının önceki çalışmalara göre daha yüksek olduğunu, balıklardaki Cu ve Mn değerlerinin Karadeniz balıklarına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Algan ve diğerleri (2004), Marmara Denizi güney ve kuzey şelf yüzey çökellerinin Fe, Mn, Pb, Ni, Cu, Zn, Cr, Co ve Hg değerlerini karşılaştırmıştır. Buna göre güney şelf çökellerindeki metal içeriklerinin daha yüksek olduğunu ve kısmen güneydeki karasal girdilerden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Pekey ve diğerleri (2004), İzmit Körfezi yüzey çökellerinde 63 µm tane boyu altı için As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, ve Ni elementlerini ekolojik risk yönünden değerlendirmişler. EPA'nın SGQ standartlarına göre çökeller ağır derecede kirlenmiştir.

Çağatay ve diğerleri (2006), Marmara Denizini kapsayan yüzey çökel örnekleri için "Marmara Denizi Çökel Atlasını" hazırlamışlardır. Yarı kapalı havza olan İzmit ve Gemlik Körfezlerinin en fazla metal kirliliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Gemlik Körfezi çökellerinin As, Sb, Pb, Mo elementleri ile kirlletildiğini belirtmişlerdir.

Ünlü ve Alpar (2006), Gemlik Körfezi yüzey çökellerinin toplam organik karbon içeriğini, tane boyu dağılımını, ağır metal kirliliğini ve PAH dağılımını araştırmıştır. Toplam organik karbon içeriği ile PAH konsantrasyonları arasında korelasyon olduğunu belirtmiştir.

Okay ve diğerleri (2008), İstanbul Boğazı yüzey çökel örneklerinde yaptıkları çalışmada Ni ve Pb konsantrasyonlarının biyolojik etkiye sebep olabilecek kirletici düzeyde olduğunu ve ayrıca As, Pb, Zn ve Cd elementlerinin tüm çalışma alanında kirletici etkiye sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sarı (2008), Güney Marmaradaki nehirlerin drenaj alanlarından aldıkları yüzey çökellerinin sediment kalitesini incelemiştir. Elde ettikleri sonuca göre Gönen ve Biga Nehirlerindeki yüksek Pb ve Zn değerlerinin jeolojik kayalardan, Cr değerlerinin ise bölgedeki dericilik faaliyetlerinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Ünlü ve diğerleri (2008), Gemlik Körfezi yüzey çökel örnekleri ve midye örneklerinde yaptıkları çalışmaya göre Cr, Mn, Fe ve Ni metalleri canlı için zararlı seviyeye ulaştığı ve ayrıca körfezdeki midyeler yüksek seviyede Cd ve Zn biriktiğini belirtmişlerdir.

Kılıç ve Çotuk (2011), İstanbul Boğazı ve Haliç Körfezinden sediment ve midye örnekleri olarak  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{238}\text{U}$  aktivitelerini ölçmüşlerdir. Sediment örneklerini  $<63\ \mu\text{m}$  ve  $>63\ \mu\text{m}$  olarak iki kısma ayırmışlardır. Midyelerin yumuşak kısımlarında radyoaktif konsantrasyonu;  $^{137}\text{Cs}$ , 0,86-2,43;  $^{40}\text{K}$ : 26,1-496,7;  $^{232}\text{Th}$ : 0,49-3,58; ve  $^{238}\text{U}$ : (limit değerin altında) 1,38 Bq kg<sup>-1</sup>. Sediment örneklerinin radyoaktivite değerleri  $<63\ \mu\text{m}$  ve  $>63\ \mu\text{m}$  için sırasıyla  $^{137}\text{Cs}$ , 8,58-67,92 ve 1,12-26,40;  $^{40}\text{K}$ , 341,4-683,0 ve 281,9-662,2;  $^{232}\text{Th}$ , 10,97-20,16 ve 7,18-19,18;  $^{238}\text{U}$ , 13,97-27,25 ve 6,41-18 Bq kg<sup>-1</sup>.

Taşkın ve diğerleri (2011), Marmara Denizi yüzey çökel örneklerinde Al, Fe, Cu ve Mn dağılımını ve PAH kökenini araştırmışlardır. Toplam Fe, Al, Cu ve Mn içerikleri %1,1-%2,8, %1,8-%5,4, 27-416  $\mu\text{g/g}$ , 122-259  $\mu\text{g/g}$  arasında değiştiğini belirtmiştir. Mn ve Fe'in zenginleşme faktörleri (EF) sırasıyla  $<1$  ve 1.5 çıkmıştır.

Sarı ve diğerleri (2013) Ambarlı limanı civarından aldıkları karot çökellerinde bölgenin Al, Cu, As, Mo, La, Pb, Zn ve Se konsantrasyonlarının 1979'dan itibaren yükselmeye başladığı, özellikle 1989 sonrası liman aktivitelerinin kirlenmede rol oynadığını belirtmişlerdir.

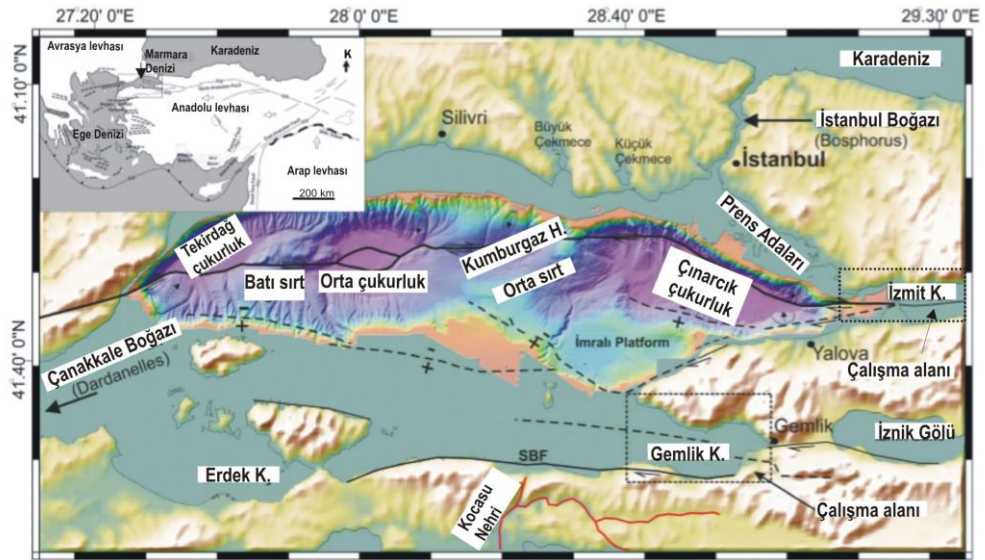
Sarı ve diğerleri (2020), Marmara Ereğlisi sedimentlerinin element (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V ve Zn) konsantrasyonlarını tespit etmişlerdir. Elementlerin ortalama konsantrasyonları Al: 17,500, As: 5, Cr: 70, Cu: 12, Fe: 10,742, Mn: 137, Ni: 44, Pb:20, V:43 ve Zn:44 mg/kg'dır. Karbonatsız metal verilerine göre çökeller Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ve V ile kirlenmemiş fakat karot çökelinin üst seviyeleri As, Pb ve Zn ile orta derecede kirlenmiştir.

Tan ve Aslan (2020), çalışmalarında İzmit Körfezi doğu çukurluktan aldıkları 25 adet yüzey çökel örneğinin metal içeriğini (Al, Fe, As, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, Zn ve Hg) incelemişlerdir. Elde edilen veriler ile kirlilik, toksisite ve ekolojik risk değerlendirmeleri yapmışlardır. Sonuçlar Zn, Cu, Cr ve Ni değerlerinin Marmara Denizi background seviyeyi aştığını gösterirken As, Cd ve Pb'nin normal düzeyde olduğunu ve bölgenin As, Cd ve Pb ile az kirlendiğini vurgulamışlardır. Sediment Quality Guideline (SQG) verilerine göre tüm istasyon yüzey çökel örnekleri Zn ile kirlenmiştir. Ayrıca İzmit Körfezi doğu çukurluğun

kuzey girişı körfezin diğerk bölgelerine göre daha fazla kirlendiğini bunu da muhtemelen körfezdeki saat yönü tersi akıntıdan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

### 1.3. Çalışma Alanı ve Coğrafik Durumu

Marmara Denizi D-B yönlü 210 km uzunlukta ve K-G yönlü 75 km genişliğinde olup hacmi 3380 km<sup>3</sup>'tür (Adatepe, 1988). Karadeniz ve Akdeniz arasında bir geçiş denizi olarak konumlanan Marmara Denizi, eşik derinlikleri sırasıyla -35 m ve -65 m olan İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile bağlanmıştır. Marmara Denizi'nde kama ve rombik şeklinde üç çukurluk bulunmaktadır. Bu çukurluklar batıdan doğuya doğru Tekirdağ, Orta çukurluk ve Çınarcık çukurluğu olup derinlikleri sırasıyla 1230, 1255 ve 1275 m'dir (Şekil 1).

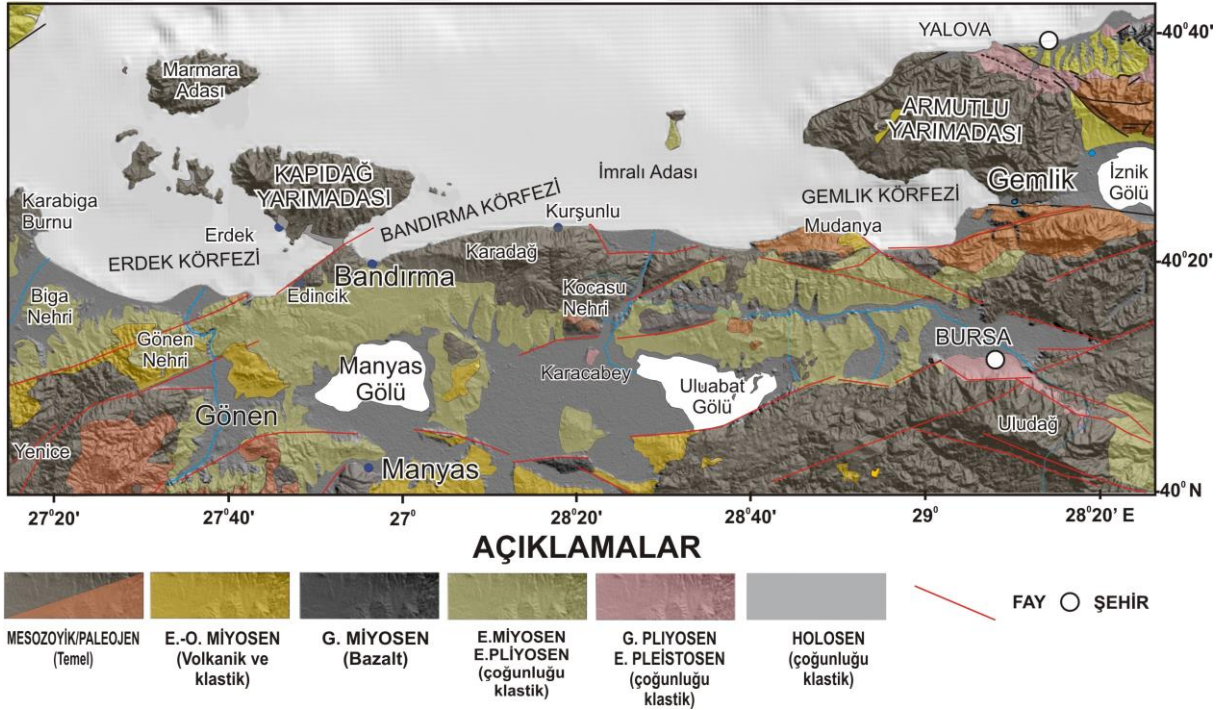


Şekil 1. Marmara Denizi ve çevresi batimetri haritası (Le pichon ve diğerleri (2001)'den alınmıştır).

Marmara Denizi, KAF'nın sağ yanal atımlı tektonik rejimi ile Ege'nin kuzey-güney yönlü gerilme tektonik rejiminin hüküm sürdüğü kuzeybatı Anadolu'da bulunmaktadır (Mckenzie, 1972; Şengör ve diğerleri, 1985). Marmara Denizi'nin oluşumu, dereceli olarak batıya doğru uzanan KAF'ın yaklaşık orta Miyosen sonunda Marmara Denizi'ne varması ile eş zamanlıdır. Ancak Marmara Denizi bugünküne benzer halini, Pliyosen ve sonrasında KAF'ın sağ yanal özelliğini kazanması ile oluşmuştur (Görür ve diğerleri, 1997; Okay ve diğerleri, 1999; Şengör ve diğerleri, 2005).

## Gemlik Körfezi

KAF'nın orta kolu üzerinde bulunan Gemlik Körfezi, Geç Pliyosen- Erken Pleyistosen döneminde gelişen doğu-batı yönlü sağ yanal atımlı doğrultu faylar denetiminde 11 km genişliğinde, 36 km uzunluğunda ve maksimum derinliği 107 m olan bir çek-ayır havzadır (Barka ve Kuşçu, 1996; Alpar ve Yaltırak, 2002; Gasperini ve diğerleri, 2011). Gemlik Körfezi, Marmara Denizi'nin doğusunda yer almakta ve İzmit Körfezi gibi yarı kapalı havza niteliğindedir. Kuzey Anadolu Fayı Mudurnu civarında üç segmente ayrılmakta (Mckenzie, 1978; Taymaz ve diğerleri, 1991; Bozkurt, 2001; Yaltırak, 2002) ve Akdeniz ile Karadenizi birbirine bağlayan Marmara Denizi içinden KAF'nın kuzey kolu uzanırken (Smith ve diğerleri, 1995; Aksu ve diğerleri, 1999; Yaltırak ve Alpar, 2002) orta segmenti Gemlik Körfezi ve İzmit Gölü boyunca uzanmaktadır (Şekil 2).



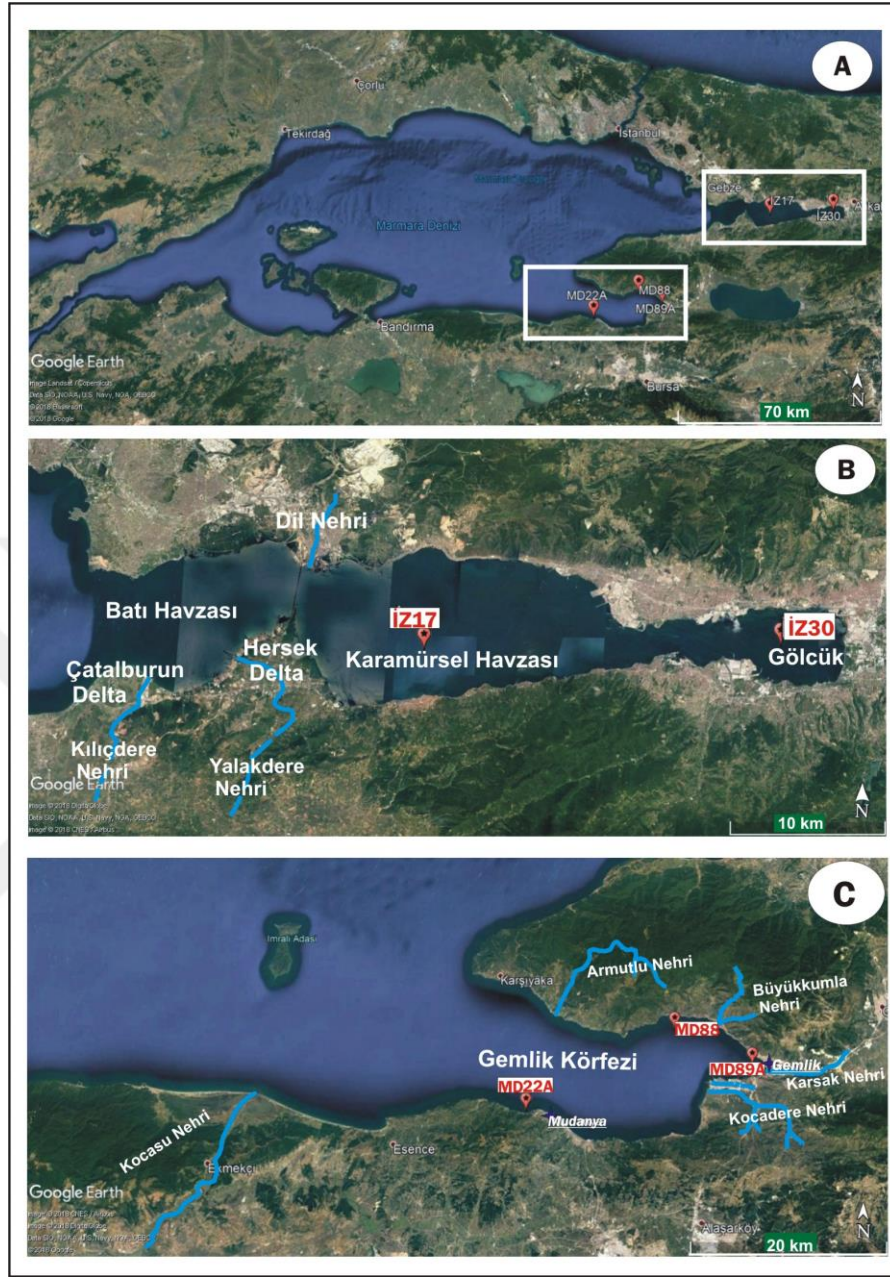
Şekil 2. Gemlik Körfezi ve çevresi jeolojik haritası (Vardar ve diğerleri (2014)'den alınmıştır).

Bölgede ana faylar Gemlik Körfezi ve İzmit Gölü arasında meydana gelmektedir (Şekil 2). Gençali Fayı bir oblik atımlı faydır (Yaltırak ve Alpar, 2002). Kurşunluda ki sıcak su çıkışları Gençali Fayının aktif olduğunu göstermektedir. Gençali ve Gemlik Fayları Kuzey

Anadolu Fayı'nın orta segmentini oluşturmaktadır (Yaltırak ve Alpar, 2002). Gemlik Fayı Paleozoyik metamorfikleri ve Eosen klastik kayalar arasında yer almaktadır.

### **İzmit Körfezi**

Tektonik açıdan en aktif olan KAF'nın kuzey kolu Marmara Denizi'ne İzmit Körfezinden girmekte ve batıya doğru uzanmaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2012). Marmara Denizi'nin bir devamı olan körfez, tektonik çukurluğun deniz suları ile dolması sonucu oluşmuştur. İzmit Körfezi D-B uzanımlı, 55 km uzunlukta, 2-10 km genişliğinde, batıdan doğuya doğru birbirine bağlı üç havzadan (Batı İzmit, Karamürsel ve Gölcük) oluşmaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2003) (Şekil 3). Merkezdeki Karamürsel havzası körfezin en derin yerini oluşturmakta ve havzanın derinliği yaklaşık 210 m ve alanı 17 km<sup>2</sup>'dir (Çağatay ve diğerleri, 2012).

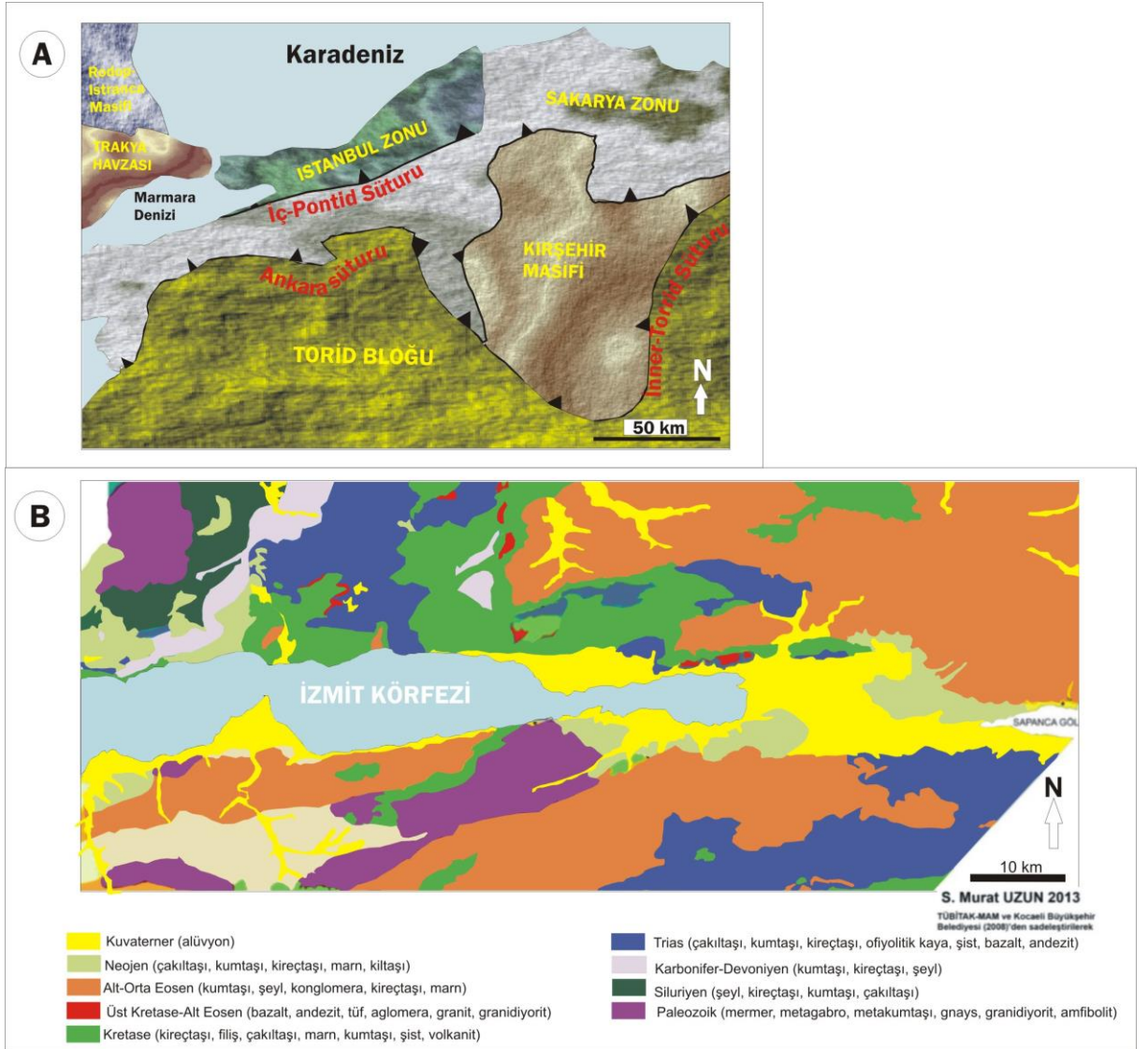


Şekil 3. (A) Çalışma alanı ve karot yerlerini gösteren basitleştirilmiş uydu haritası, (B) İzmit Körfezi (batı, karamürsel ve gölcük havzaları) ve (C) Gemlik Körfezi detaylı uydu haritası ve drenaj sistemi

#### 1.4. Çalışma Alanının Jeolojisi

Marmara Denizi güney kıyıları birbirlerine tektonik açıdan kenetlenmiş olarak duran farklı yaş ve özelliklere sahip formasyonlardan oluşmaktadır (Şengör ve diğerleri, 1985).

Şekil 3'e göre çalışma alanı ve çevresindeki tektonik birlikler; İstanbul Zonu, Sakarya Zonu, Trakya Havzası, Rodop-Istranca Masifi, Kırşehir Masifi ve Torid bloğudur. İstanbul ve Sakarya Zonları içerisinde yer alan İzmit Körfezi çeşitli birimlerden oluşmaktadır. Körfezin güneyinde İç-Pontid kenet kuşağına ait kayaçlar tektonik dilinim ve melanj şeklinde Triyas-Paleosen yaşlı peridotit ve okyanusal volkano-sedimanter birimlerden oluşmaktadır (Okay ve diğerleri, 1996). Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller bölgede en genç birim olarak nitelendirilmektedir (Şekil 4). Alüvyon çökeller; Dilova, Yalakdere, Kılıçdere akarsuları civarında ve körfezin doğusunda yüzeylemektedir. Neojen yaşlı birim çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve silttaşından oluşmakta ve genel olarak körfezin doğusunda yüzeylemektedir. Çalışma alanında en çok yüzeyleme gösteren Alt-Orta Eosen yaşlı birim kumtaşı, şeyl, konglomera, kireçtaşı ve marndan oluşmakta ve İzmit Körfezi'nin kuzeydoğusu ve güneyinde yüzeylemektedir. Üst Kretase-Alt Eosen yaşlı kırmızı renk ile temsil edilen birim körfezin kuzeyinde birkaç lokasyon haricinde yüzeyleme göstermemektedir. Paleozoyik yaşlı granitik-metamorfik kayaç birliği ve Permiyen-Triyas yaşlı Karakaya karmaşığı Sakarya Zonu'na ait kayaçlardır (Pehlivan, 2017). Karakaya Karmaşığı Nilüfer, Hodul, Çal ve Orhanlar grovağı gibi birimlerden oluşmaktadır (Albut, 2014). Nilüfer birimi çoğunlukla mafik volkanik tüf ve kırıntılardan oluşmaktadır. Bu birim yüksek basınç yeşil şist metamorfizması geçirmiştir (Okay ve diğerleri, 1996). Nilüfer birimi Bandırma ve Mudanya kıyı şeridi, Kapıdağ Yarımadası, Paşalimanı ve Marmara adaları, Manyas güney ve güneybatısında ve Bursa'nın güneybatısında yüzeylemektedir. Çal birimi de Nilüfer birimi gibi mafik volkanik ve volkanik-kırıntı kayaçlarından oluşmaktadır. Hodul birimi Çan ve Biga doğusunda Biga Nehri'nin drenaj alanında yüzeylemektedir (Albut, 2014). Granitik-metamorfik birimler; mermer, metagabro, metakumtaşı, gnays, granidiorit ve amfibolitten oluşmaktadır. Metamorfizma yüksek amfibolit fasiyesindedir (Albut, 2014). Bu birimler Gemlik Körfezine yakın Uludağda ve Armutlu Yarımadası batısında yüzeylemektedir.



Şekil 4. (A) Çalışma alanı neotektonik birlikler (Okay ve Tüysüz, (1999)'dan düzenleme yapıldı) (B) İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojik haritası (Uzun (2013)'den değiştirilmiştir).

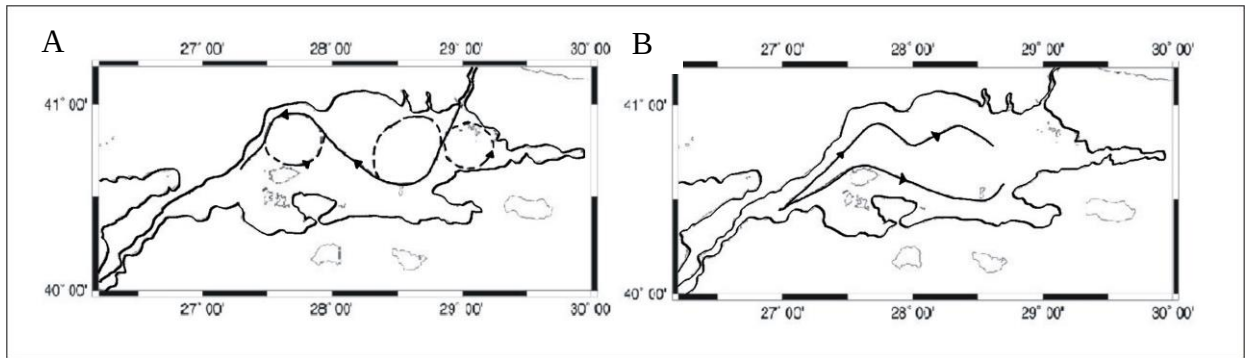
Marmara Denizi yüzey çökel kil örneklerinde en fazla smektit, illit ve kaolinit türleri tespit edilmiştir (Kapur ve diğerleri, 1999). Kil minerallerinin %28-66 smektit, %21-43 illit ve %13-27 kaolinitten oluştuğunu ve ayrıca smektitin özellikle Marmara Denizi güneyindeki karasal volkanik birimlerin ayrışma ürününden kaynaklandığı belirlenmiştir (Tübitak, 1999).

### 1.5. Oşinografik ve Hidrografik Özellikler

Marmara Denizi, Akdeniz ve Karadeniz arasında bulunan bir iç denizdir. Marmara Denizi'nin oşinografisi, iki tabakalı su sistemi ile temsil edilir. Düşük yoğunluktaki (tuzluluk: ‰18) Karadeniz, İstanbul Boğazı ile Marmara Denizi'ne girişi ve daha tuzlu olan Akdeniz (tuzluluk: ‰38), Çanakkale Boğazı ile Marmara Denizi'ne girişi ile şekillenmektedir. Marmara Denizi'nde Karadeniz suyu üst tabakayı, Akdeniz suyu ise alt tabakayı oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı Karadeniz girişinde ‰17-18 tuzlulukta olan üst su Marmara Denizi'nde ‰20-25 arasında değişmekte ve Çanakkale Boğazı Ege Denizi girişinde alt su ile karışımından dolayı ‰29'a ulaşır. Marmara Denizi girişinde ~‰39 tuzlulukta olan alt su, Marmara Denizi'nde belirgin bir değişim göstermemekte ve ‰37-38 arasında sınırlı kalır. Karadeniz girişinde ise alt su tuzluğu ‰35,5'e düşmektedir (Beşiktepe ve diğerleri, 1994).

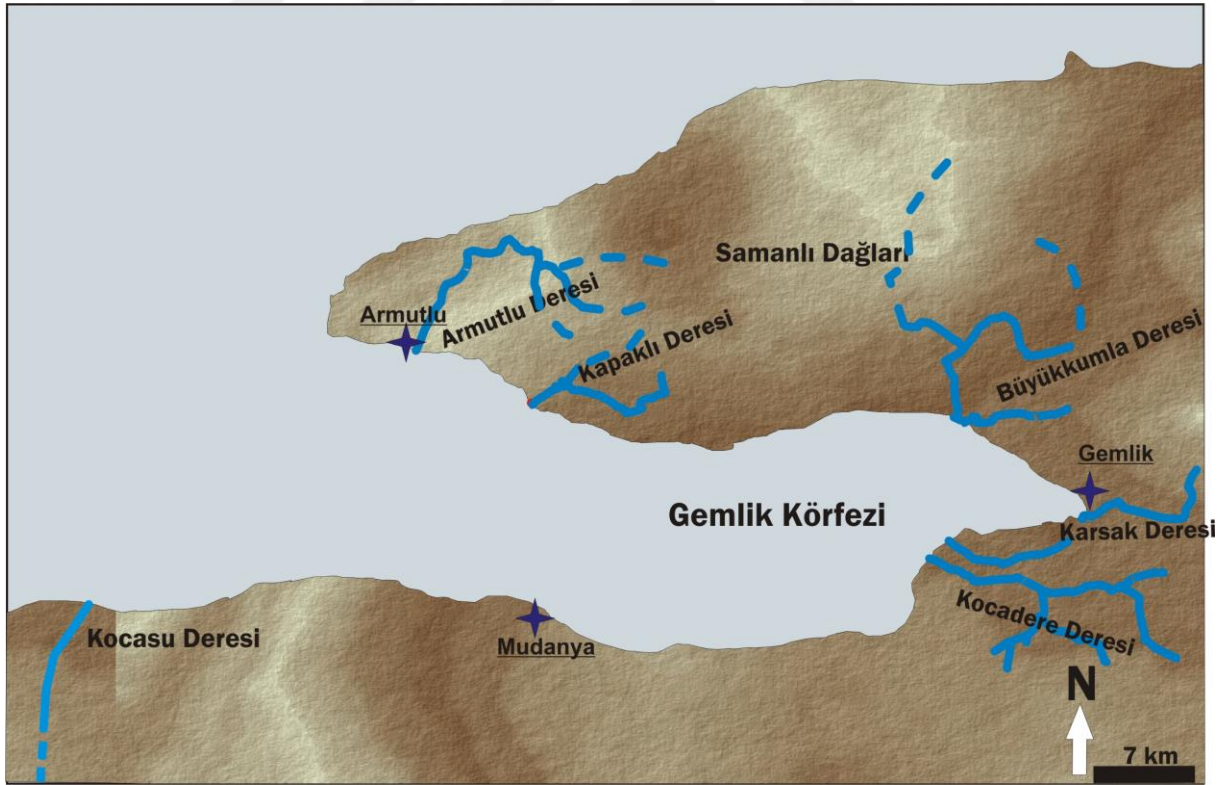
Beşiktepe ve diğerleri (1994), Marmara Denizi'nde İstanbul Boğazı'ndan gelen üst akıntının öncelikle güneye doğru ilerlediğini, daha sonra batıya yönelen S şekilli bir jet akıntısı oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu jet akıntısı, sonbahar ve kış aylarında Karadeniz'den gelen akıntı debisinin düşmesi sebebiyle zayıflayarak İstanbul Boğazı çıkışından kuzey şelfe doğru akma eğilimi göstermektedir (Şekil 5A, 5B). Üst su tabakasının yenilenme süresi 4-5 ay, alt su tabakasının yenilenme süresi ise 6-7 yıldır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994).



Şekil 5. (A) Marmara Denizi'nin yüzey su dolaşımı, (B) Marmara Denizi'nin dip su suyu dolaşımı (Beşiktepe ve diğerleri (1994)'den alınmıştır).

Marmara Denizi'nin güney doğusunda yer alan Gemlik Körfezi iki tabakalı su sistemi ile karakterize edilmektedir (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). İki su kütesini birbirinden ayıran

piknoklin yaklaşık -25 m'de bulunmaktadır. Üst su kütlesi batı ve doğu havzasında sırasıyla 13-17 ve 2-6 cm.sa<sup>-1</sup> hız ile saat yönünün tersi yönünde akmaktadır (Eriş ve diğerleri, 2019). Marmara Denizi güney drenaj havza genişliği 31000 km<sup>2</sup> (Ergin ve diğerleri, 1991) olup bölgeye nehirler ile toplam 5.8 km<sup>3</sup>/yıl tatlı su, 2.2\*10<sup>6</sup> tonda sediment sağlanmaktadır (EİE, 1993). Körfez, Akdeniz ve Pontik iklimlerinin etkisinde kaldığı geçiş zonunda bulunmaktadır (Ünal ve diğerleri, 2003; Baltacı ve diğerleri, 2017; Eriş ve diğerleri, 2019). En çok yağış kış ve ilkbaharda görülmektedir. Filikçi ve diğerleri (2017) son birkaç bin yıldaki yüksek sedimantasyon hızını (0.23 cm) ormansızlaşmaya aynı zamanda güney Marmara bölgesindeki Manyas ve Ulubat göllerine (Kazancı ve diğerleri, 2004) bağlamışlardır. Gemlik Körfezi kuzey ve güney kıyılarını dik yamaçlar ile çevreleyen Samanlı ve Katırlı dağları geniş drenaj alanları ile karakterize edilmektedir (Filikçi ve diğerleri, 2017). Körfeze sediment kaynağı kuzey ve güney alanı drene eden dereler ile (Kocasu, Kocadere, Karsak, Büyükkumla, Küçükkumla ve Armutlu) olmaktadır (Şekil 6). Günümüzde en geniş deltayı oluşturan Kocadere deresi bölgedeki en geniş drenaj sistemidir.



Şekil 6. Gemlik Körfezi çevresinin drenaj alanı

Karamürsel havzasındaki iki su kütlesi arasında bulunan haloklin derinliği boğaz üzerinden giren Karadeniz su miktarına bağlı olarak ilkbaharda 9 m ve sonbaharda 18 m arası değişiklik gösterebilmektedir (Algan ve diğerleri, 1999; Balkıs, 2003; Çağatay ve diğerleri, 2012). Bu girdi geç ilkbahar ve erken yaz da artmaktadır. Karamürsel Havzası'nda yüzey akıntı hızı 5-19 cm.sa<sup>-1</sup> (ortalama 11 cm.sa<sup>-1</sup>) ve alt akıntı 5-9 cm.sa<sup>-1</sup> (ortalama: 6 cm.sa<sup>-1</sup>) arası değerler almaktadır. Alt akıntı yönü sezonsal olarak değişiklik göstermekle birlikte genel olarak doğu ve batıdan merkeze (Karamürsel Havzası) doğrudur (Çağatay ve diğerleri, 2012). Karamürsel Havzası'nda çözülmüş oksijen seviyesi 0.2-9 mg.l<sup>-1</sup> arası değerler alırken yaz ve sonbahar süresi boyunca local anoksik durumlar gelişmektedir (Ergin ve Yörük, 1990; Balkıs 2003). İzmit Körfezine kuzeyden, güneyden ve doğudan bazı küçük dereler drene olmaktadır. Güneydeki Kılıçdere ve Yalakdere akarsuları Çatalburun ve Hersek delta komplekslerinin şekillenmesini sağlamaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2003). Bu deltaların genişlikleri sırasıyla yaklaşık 800 ve 1350 m'dir (Şekil 3B).

#### **1.6. Marmara Denizi Geç Pleyistosen-Holosen Dönemi Paleosinografisi**

Genel olarak Marmara Denizi'nin paleosinografisi, son buzullaşma döneminde göl durumunda olan Marmara Denizi'nin, buzularası dönemlerde deniz seviyesi yükselimi sonucu Akdeniz ve Karadeniz ile bağlantı sağlanıp bugünkü iki tabakalı su sistemine kavuşmasıyla açıklanmaktadır (Kırcı-Elmas, 2006).

Marmara Denizi, global deniz seviyesinin Çanakkale ve İstanbul Boğazlarındaki eşik derinliklerin altına düştüğü buzul dönemlerde Ege ve Karadeniz tarafından izole göl durumunda iken global deniz seviyesinin eşik derinliği aştığı buzularası dönemlerde boğazlar üzerinden tekrar bağlantı sağlanmaktadır (Aksu ve diğerleri, 2002). Marmara Denizi göl durumunda iken İstanbul ve Çanakkale boğazlarındaki eşik derinliklerin altında kalan su seviyesi; Marmara Denizi'nde -110 m (Smith ve diğerleri, 1995; Aksu ve diğerleri, 1999), Ege Denizi'nde -115 ile -118 m (van Andel ve Lianos, 1984; Aksu ve diğerleri, 1987) ve Karadeniz'de -100 ile -125 m'dedir (Wall ve Dale, 1974; Ryan ve diğerleri, 1997). Günümüzden ~14 bin yıl önce Doğu Akdeniz'de deniz seviyesi yükselmeye başlar (Chappell ve Shackleton, 1986; Fairbanks, 1989) ve ~12 bin yıl önce, Akdeniz suyu Marmara Denizi'ne girer (Stanley ve Blanpied, 1980; Çağatay ve diğerleri, 2000; Aksu ve diğerleri, 2002; Kaminski ve diğerleri, 2002). Literatürde, Marmara Denizi ile Akdeniz bağlantısının gerçekleşme zamanında fikir birliği vardır. Fakat Karadeniz-Marmara bağlantısının ne zaman

gerçekleştirdiği konusunda farklı görüşler mevcuttur. Marmara Denizi paleoşinografisi Kırcı-Elmas, 1990 doktora tez verilerinden özetlenmiştir. Buna göre;

Stanley ve Blanpied (1980)'e göre, günümüzden önce 12 bin - 9.5 bin yılları arası, Karadeniz'den Marmara Denizi'ne güçlü bir tatlı su akışı mevcuttur. Bu tatlı su akışının ana kaynağı Tuna, Dinyeper, Dinyester gibi büyük nehirler ile taşınan erimiş buzul sularıdır. Günümüzden önce 7 bin-3 bin yılları arası Karadeniz'den tatlı su akış debisi azalmakta ve Marmara Denizi'nde denizel rejim hakim olmaktadır. Düşük dereceli deniz seviyesi yükselimi sonucu, Akdeniz suyu Karadeniz'e nüfuz etmekte ve 7-3 bin yılları arası Karadeniz'de sapropel çökelişi gerçekleşmektedir.

Çağatay ve diğerleri, (2000) ve Aksu ve diğerleri, (2002), Karadeniz'den ~11 bin yıl önce Marmara Denizi'ne besin elementlerince zengin su akışı meydana gelmekte ve sapropel çökelişine neden olmaktadır. Karadenizden gelen düşük tuzluluğa sahip su akışı, Marmara Denizi'nde tabakalanmaya neden olmakta ve sapropel çökelişine olanak sağlamaktadır. Düşük tuzlulukta bu su akışı, Akdeniz'in Karadenize su akışına 9.1 bin yıl öncesine kadar engellemiştir (Kaminski ve diğerleri, 2002). Ancak 6.1 bin yıl önce İstanbul Boğazı çıkışında planktik foraminiferlerin bolluğu, Karadeniz'den gelen su akışının azaldığını göstermektedir (Kaminski ve diğerleri, 2002).

Bu görüşlere zıt diğer bir görüş ise; Akdeniz'den katastrofik bir şekilde Karadenize günümüzden 7150 ile 8400 yılları önce su boşaldığıdır (Ryan ve diğerleri, 1997). Bu görüş izotop çalışmaları ile desteklenmiştir (Sperling ve diğerleri 2003).

### **1.7. Marmara Denizi Çevresinin Sanayi ve Endüstri Özellikleri**

Marmara Denizi çevresindeki yoğun sanayi kuruluşları ve deniz trafiğinden dolayı gün be gün kirlenmektedir. Marmara Denizi'nin kuzey şelf alanı dar iken (<25 km genişliğinde), güney şelf alanı daha geniş ve çeşitli nehirleri bünyesinde barındırmaktadır. Özellikle Bursa ilinin evsel ve endüstriyel atık sularını drene eden Kocasu Nehri'nin Nilüfer kolu Marmara Denizi güney şelf alanını kirlenmektedir. Bu akarsu Uludağ'ın güney yamaçlarında 850 m yüksekliğinde iki mağaradan çıkar. Kaynağında içme suyu olarak kullanılırken, Bursa ilini drene etmesi ile su kalitesi bozulmaktadır. Bursa ilinde antropojenik kirliliğe etki edecek büyük çaplı geniş organize sanayi bölgeleri yer almaktadır. Bunlardan başlıcaları Bursa Deri İhtisas, Nilüfer, Demirtaş Organize Sanayi Bölgeleridir. Bu sanayi bölgelerinin ağırlıklı sektör grupları dericilik, tekstil, metal ürünleri ve kauçuk plastik ürünleri imalatıdır (Pehlivan,

2017). Söz konusu sanayilerin çeşitli üretim aşamalarında ortaya çıkan atık sular kısmen arıtılarak Kocasu Nehri dağıtıcı kollarına verilmektedir (Sarı, 2008). Bu kirletici yükler Gemlik Körfezi'ne taşınarak deniz tabanındaki sedimentte depolanmaktadır. Bununla birlikte Gönen ve Biga nehirleri de dericilik faaliyetleriyle oluşmuş yüksek Cr içerikli atıksuları Marmara Denizi güney şelfine taşımaktadır (Sarı, 2008). Bölgenin jeolojisi ve çevre kayaçların bileşenleri de ağır metallerin denizel ortamda zenginleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla sucul ortamda antropojenik kaynaklı zenginleşmenin yanı sıra karasal kaynaklı zenginleşmenin varlığından da söz etmek mümkündür. Nitekim Kocasu, Gönen ve Biga çaylarının su toplama havzalarında yer alan Pb, Zn, Cu, Mo, As gibi maden yatakları ve cevherleşme zonları ile Ni, Co ve Cr için yüksek temel (background) derişimleri içeren çeşitli mafik ve ultramafik kayaçlara ait aşınma ürünleri akarsular vasıtasıyla güney şelf ve körfezlerine taşınmaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2006). Bu iç denizimiz sadece güney Marmara'yı drene eden nehirlerle değil, aynı zamanda Karadeniz'den gelen, özellikle Tuna Nehri kaynaklı askıda ve çözünmüş madde yükleriyle de olumsuz olarak etkilenmektedir (Şekil 7; Mee, 1992; Polat ve Tuğrul, 1995; Oğuz ve diğerleri, 2004; Çağatay ve diğerleri, 2006; Sarı ve diğerleri, 2018).

Marmara Denizi akaçlama alanında toplam 46 yerleşim merkezi bulunmakta ve Türkiye'nin %20 nüfusunu oluşturan yaklaşık 20 milyon insan yaşamaktadır (Çağatay ve diğerleri, 2006; Erel, 1992; Erel, 1997; Mater ve Gürpınar, 1992) (Şekil 7).



Şekil 7. Marmara Denizi çevresindeki nüfus ve endüstri dağılımını gösteren harita. Kırmızı: denize girilmesi sakıncalı, sarı: ölçüm yapılarak denize girilebilen, mavi: denize girilebilir kıyı alanlarını göstermektedir (Mater ve Gürpınar, 1992).

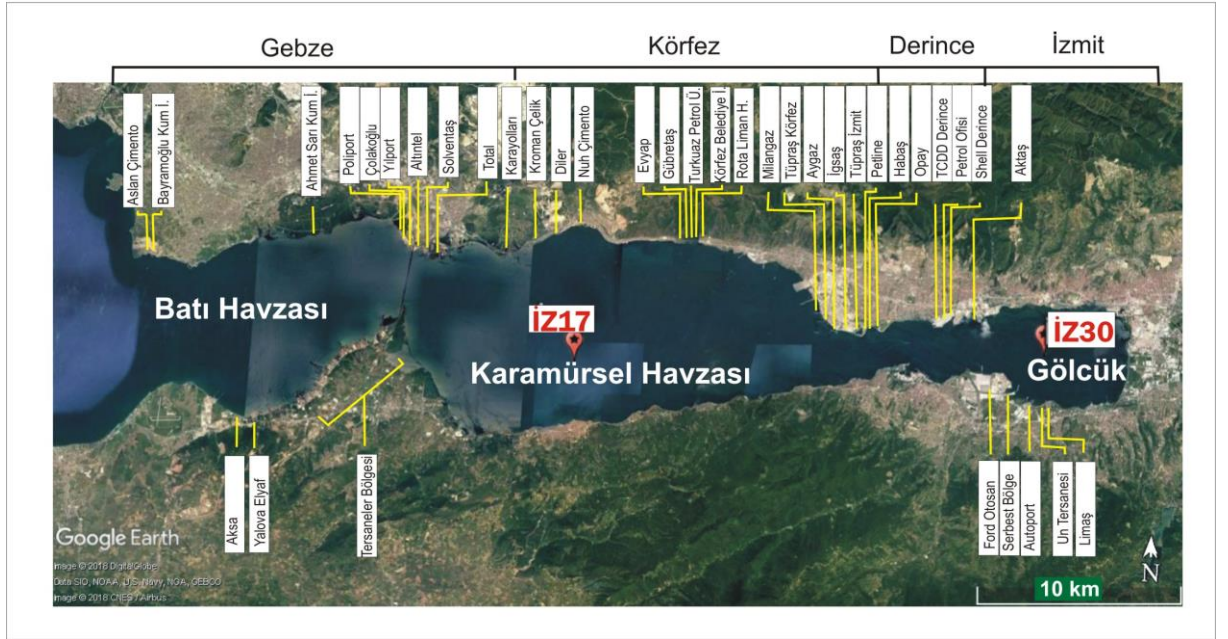
Gemlik Körfezi'nde; Gemlik ilçesi, Trilye ve Mudanya endüstrinin yaygın olduğu yerlerdir. Endüstri ve sanayi yoğunluğunun fazla olduğu güney kıyılarına karşın kuzey kıyılardaki köyler (Armutlu, Fıstıklı, Kapaklı, Küçükkumla ve Büyükkumla) turizm aktivitelerinin olduğu alanlardır. Toplam nüfus 129 bin'i aşmakta ve yaz aylarında bu sayı iki katına çıkmaktadır (Ünlü ve Alpar, 2006). Körfezde Mudanya Limanı ile ihracat yapılmaktadır (Ünlü ve Alpar, 2006). Gemlik Körfezi, tekstil, metal, rafineri, yiyecek (zeytin ve zeytinyağı), sabun ve çimento endüstrisi atıklarının etkisi altındadır (Solmaz ve diğerleri, 2000). Körfeze yapılan toplam atık su tahliyesi yılda 7.5 milyon m<sup>3</sup>'tür (Solmaz ve diğerleri, 2000). Bu atıkların çoğunluğu evsel atıklarla birlikte Karsak Çayı ile Gemlik Körfezi'ne ulaşmaktadır.

İzmit Körfezi, nüfus ve endüstri yoğunluğunun en fazla olduğu alanlardır. Doğal bir liman olan İzmit Körfezi işlek bir deniz yoludur. Eskiden körfezin kuzey kıyılarında yaygın

olan zeytinlikler kent ve sanayi alanı elde edilmesi amacıyla yok edilmiş durumdadır (İl tarım orman müdürlüğü faaliyet raporu, 2018). Yıllık nüfus artışına göre Kocaeli 81 il içerisinde 12. sıradadır (Kocaeli Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018). Kocaeli'nin nüfus yoğunluğu 557/km<sup>2</sup> olup Türkiye de 3. sıradadır. Sanayi şehri olan Kocaeli'nde öne çıkan sektörler Otomotiv (%38), Kimya (%27) ve metal (%18,8) olarak belirlenmiştir (Kocaeli Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018; Tablo 2). Körfez çevresinde ilaç, çelik/izabe, kağıt, tekstil, seramik, petrokimya fabrikaları bulunmaktadır (Şekil 8). Bütün bu tesislerin atıkları ve evsel atıklar denizel alanlara deşarj olmaktadır.

Tablo 2. İl tarım orman müdürlüğü 2018 Kocaeli faaliyet raporuna göre Kocaeli'nde faaliyet gösteren sektörler ve oranları

| Sektörler       | Oran (%) |
|-----------------|----------|
| Tarım           | %3       |
| Sanayi          | %70      |
| Diğer Hizmetler | %27      |
| <b>Toplam</b>   | 100      |



Şekil 8. İzmit Körfezi liman bölgesinde yer alan liman işletme tesisleri (Kocaeli Valiliği İzmit Körfezi liman bölgesi raporu, 2011) ve karot lokasyonlarını gösteren uydu haritası.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Deniz Tabanından Örnek Alınması ve Hazırlanması

İstanbul Üniversitesi ARAR II Araştırma Gemisi ile Marmara Denizi'nin farklı lokasyonlarından (Gemlik Körfezi ve İzmit Körfezi) 2014 yılı Temmuz ayında toplamda 5 adet gravite karotları alınmıştır (Şekil 3). Gemlik Körfezinden MD22A, MD89A ve MD88 karotları sırasıyla -38, -38 ve -68 m su derinliklerinden alınmıştır. Bu karotlardan MD22A karotu 151, MD89A karotu 132 ve MD88 karotu 146 cm uzunluğundadır. Endüstrileşmenin yoğun olduğu İzmit Körfezi'nden 142 cm uzunluğunda İZ30 karotu -28 m ve 123 cm uzunluğundaki İZ17 karotu -156 m su derinliğinden alınmıştır (Şekil 3, Tablo 3).

Tablo 3. Çalışma kapsamında Marmara Denizi'nden alınan karotlara ait bilgiler

| Gemlik Körfezi |                     |              |                                 |
|----------------|---------------------|--------------|---------------------------------|
| Karot adı      | Karot uzunluğu (cm) | Derinlik (m) | Koordinat                       |
| MD22A          | 158                 | 38           | 40°22'54.59"K,<br>28°51'1.80"D  |
| MD89A          | 141                 | 38           | 40°25'48.00"K,<br>29° 8'13.81"D |
| MD88           | 146                 | 68           | 40°27'49.79"K,<br>29° 2'25.80"D |
| İzmit Körfezi  |                     |              |                                 |
| Karot adı      | Karot uzunluğu (cm) | Derinlik (m) | Koordinat                       |
| İZ30           | 142                 | 28           | 40°44'12.01"K,<br>29°53'30.01"D |
| İZ17           | 123                 | 156          | 40°43'18.01"K,<br>29°37'0.01"D  |

Alınan karotlar İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Jeolojisi laboratuvarında bulunan soğuk dolapta analize başlayıncaya kadar -4 ° C ile 5 ° C arasında muhafaza edilmiştir. Karotlar Deniz Jeolojisi laboratuvarında kesici alet ile boyuna iki eş parçaya ayrılarak, fotoğraflandı. Karotların yarısı MSCL ve XRF analizleri için arşivlenirken, diğer yarısı litojenik tanımlamalardan sonra sedimentolojik ve jeokimyasal analizlere yönelik çalışmalar için alt örneklemeleri yapılmıştır.

## **2.2. Karotlarda Sedimentolojik Analizler**

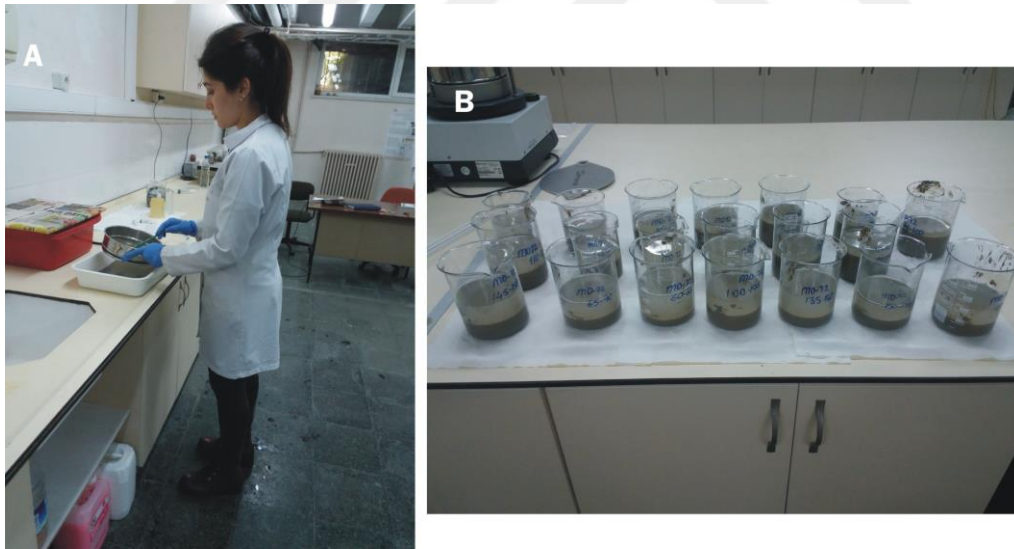
### **2.2.1. Çok sensörlü karot log alıcısı analizi (MSCL)**

Karot çökellerinin yoğunluk, porozite, manyetik duyarlılık özelliklerini belirlemek için MSCL analizi İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü EMCOL laboratuvarında yapılmıştır. Karotların MSCL analizleri 2 mm çözünürlükte yapılarak, parametrelerin değişimi hassas bir şekilde karot boyunca grafiklendirilmiştir. Tamamen otomatikleştirilmiş karot logu alma işleminin kontrolü ve verilerin işlenmesi için yazılımın kurulu olduğu masaüstü bilgisayar kullanılmıştır. MSCL ölçümleri karot boyunca yapılırken, analizin çözünürlüğü istenildiği şekilde seçilebilmektedir. Bu çalışmada analizler 2 mm'lik çözünürlükte yapılmıştır. Cihaz üzerine monte edilmiş sensörler, Pdalga, manyetik geçirgenlik, gama yoğunluk, elektrik özdirenç sensörleridir. Başlıca MSCL ölçüm parametreleri şunlardır: Karot kalınlığı sensörü: P-dalga sensörü üzerinde yer alan mekanik olarak yaya tuturulmuş bir çift yer değiştirme sensörü ile 0.01 mm hassasiyetle yapılmaktadır. Karot boyunca iki eş parçaya ayrılmış ve arşivlenmiş olan karotun yüzeyi enine temizlenerek porozite, manyetik duyarlılık ve yoğunluk analizleri yapılmıştır.

### **2.2.2. Tane boyu analizi**

Sedimentolojik çalışmalarda önemli bir yer tutan tane boyu içeriğinin tespiti kirlilik çalışmalarında da sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bilindiği üzere sedimanın tane boyu küçüldükçe yüzey alanı artmaktadır. Bununla birlikte doğru orantılı olarak artan kil boyutu denizel ortamlarda jeokimyasal proseslere daha fazla maruz kalacak ve sedimanın metal tutma kapasitesi artacaktır. Ağır metallerin çökellerde birikme kapasitesini tane boyu özellikleri ile birlikte sedimanın kompozisyonu (gözeneklilik, sus tutma kapasitesi), minerolojik ve kimyasal yapısı da etkilemektedir. Tane boyu analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Jeolojisi laboratuvarında yer alan bilgisayar kontrollü lazer saçılımlı Sedigraph 5120 cihazı ile ölçülmüştür. Bunun için yarım eş karotta 2 cm aralıklar ile örnekleme yapıldı. Bu çalışmada

Galehouse (1971) ve McManus (1991) metodu kullanılarak çakıl, kum, silt ve kil miktarları ölçüldü. Bu metoda göre; çökeltide bulunan çözünebilir tuzlar, kil boyutundaki materyalin topaklanmasına (tanelerin bir araya gelip çökmesi) neden olarak analizi hatalı sonuca götürmektedir. Bu nedenle; örnekler öncelikle tuzlardan arındırılmak amacıyla saf suda bekletilmiş, sifonlama ile birkaç kez yıkanmıştır (Şekil 8). Islak örnek 100°C etüvde kurutulularak toplam ağırlığı kayıt edilerek, %10'luk kalgon ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>'lu saf suda 24 saat bekletilmiştir. Kalgon ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>'lu ıslak örnek 63 mikrometre elek üzerinde saf su ile yıkanarak kaba taneli fraksiyonların (Çakıl + kum), ince taneli (Silt + kil) fraksiyonlardan ayrılması sağlanmıştır (Şekil 9). Bu yıkama işlemini yaparken eleğin altına toplayıcı bir kap konulmuş, yüksek konsantrasyonda ince taneli sediman toplandıktan sonra, elek üzerindeki sedimanın yıkanmasına devam edilmiştir. Yıkama işlemi elek altından akan suyun berraklaşmasına kadar sürdürülmüştür. Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra elek üstündeki kum ve çakıl boyutu malzeme toplayıcı bir kaba aktarılarak 100°C de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan örneğin tane boyu elek takımında gerçekleştirilirken, ince taneli sedimanın kil ve silt oranı lazer saçılımlı sedigraph cihazında yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 9. (A) Tuzlardan arıtılması için saf suda bekletme, (B) 0.063 mm'lik elek üzerinde yıkama işlemi

Örneklerin içerdiği boyut gurupları % cinsinden aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$\% \text{Çakıl} = (\text{GW}/\text{W}) * 100 \quad (2.1)$$

GW: 2 mm'lik elek üzerinde kalan çökelin ağırlığı

W: Numunenin toplam ağırlığı.

$$\%Kum = (SW/W)*100 \quad (2.2)$$

SW: 2 mm ile 0.063 mm'lik elek aralığında kalan çökelin ağırlığı

$$\%Çamur = 100 - (\%çakıl + \%kum) \quad (2.3)$$

Silt ve kil boyutu malzemenin ayrı ayrı yüzdeleri sedigraf aletinden elde edilen kil ve silt verilerinden yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Elek takımı ve lazer saçılımlı sedigraf cihazı

## 2.3. Karotlarda Jeokimya Analizleri

### 2.3.1. XRF karot tarayıcısı analizi

XRF analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi Emcol laboratuvarında bulunan X-ray fluorescence (XRF) cihazında yarım eş karotta yapılmıştır. Cihaz ile çoklu element analizleri yarı kantitatif olarak ölçülmüştür. Karotta çıplak gözle gözlemlenemeyen laminasyonlar, mikro-radyografik ve optik görüntülerinin yüksek uzamsal çözünürlükte elde edilmesi

sağlanmıştır (Croudace ve diğerleri, 2006). Bu analiz yarım eş karot boyunca yapılmış ve radyografik görüntü ile birlikte Ca, Fe, K, Sr, Ti, Mn elementlerinin göreceli değişimi gözlemlenmiştir. Cihazın çalışma prensibi X-ışınlarının atomun iç elektron kabuğundan bir elektronu koparması esasına dayanır. Açığa çıkan boşluğu, dış kabuktaki elektron doldurur. Elektron, fazlalık enerjisini bırakır. Bu fazlalık enerji, X ışını olarak yayılır. Böylelikle, her bir kabuk çifti kendine özel radyasyon üretir ve her atom, kendi dalgaboyunu ve enerjisini yayar. Önce çıkan X-ışını küçük bir hacimle etkilenir ve dağılan X-ışını ince yüzeyel tabakadan veri içerir. Örnekteki elementlerin derinlik tepkisi, matriksin kimyasal içeriğine ve ışıyan radyasyonun dalga boyuna bağlıdır (Jenkins ve Vries, 1970). Hafif elementler için (Al ve Si gibi), bu derinlik yaklaşık bir kaç  $\mu\text{m}$ , Ca için  $\mu\text{m}$ 'nin onda biri, Fe için bir kaç yüz  $\mu\text{m}$ 'dir. Işıyan radyasyon, farklı elementler için EDS (energy dispersive spektrometre) ile ölçülür.

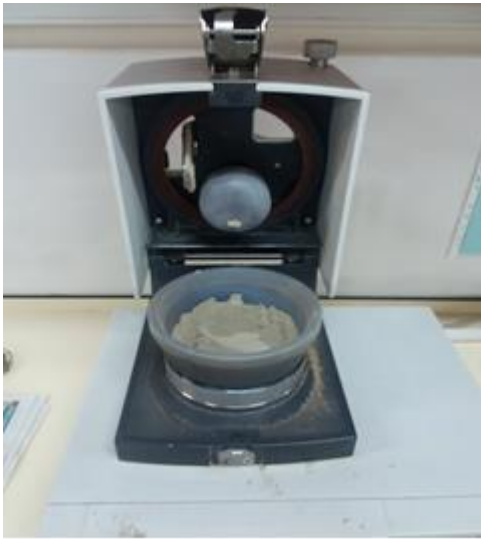
XRF Karot tarayıcısı ile karot boyunca üç tür veri üretilmektedir (Croudace ve diğerleri, 2006; Thomson ve diğerleri, 2006): XRF-EDS (X-ışınları fluoresans – enerji saçınım spektroskopisi) ile en az 200  $\mu$  çözünürlükte çoklu element (Al, P, Si, S, K, Ca, Sc, Zr, Mn, Ti, Ar, Cr, Co, Cu, Fe, Zn, Ge, As, V, Se, Br, Ni, Rb, Sr, Y, Nb, Ga, Cs, Cl, Ba, Mo, Ta, W, Th, Pb, U) analizleri, Sayısal X-ışınları radyografi analizi ile 20 mikron çözünürlükte sedimanter iç yapılarının sayısal X-ışınları radyografisi ve üç renk bandında renk görüntüleme analizi.

XRF analizleri yarı kantitatif olup; standartlar kullanılarak CPS verileri ppm veya % ağırlık değerlerine dönüştürülebilir. Analizlerin kontrolü ve verilerin işlenmesi için yazılımın kurulu olduğu masaüstü bilgisayar kullanılmaktadır. XRF analizi İTÜ EMCOL Jeokimya laboratuvarında her bir karotta 2 mm aralık ile yapılmıştır.

### **2.3.2. Toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon analizleri (TOK-TİK)**

Organik kökenli metal zenginleşmelerinin belirlenmesi ve yorumlanması için TOK ve TİK analizleri sıklıkla kullanılmaktadır. Tez çalışmasında TOK içeriği Walley-Blake yöntemi (Gaudette ve diğerleri, 1974; Loring ve Rantala, 1992) kullanılarak İstanbul Üniversitesi Deniz Jeolojisi Laboratuvarında yapılmıştır. Bunun için karotlarda 0-30 cm arası 1 cm; 30-60 cm arası 2 cm; 60-100 cm arası 5 cm; 100 cm altı ise 10 cm aralıklarla örneklenmiştir. Analiz için 100°C kurutulmuş ve agat havanda toz haline gelmiş örneklerden 0.5 g kullanılmıştır (Şekil 11). Örnekler 500 ml'lik erlene koyulup sırasıyla bazı kimyasal işlemlere tabi

tutulmuştur. Bu yöntem potasyum dikromat ile organik maddenin oksidasyonunu ve fazlalık dikromatın difenilamin indikatörlüğünde demir amonyum sülfat ile titrasyonunu içerir. Erledeki 0.5 g sediman örneklerine 10 ml 1N  $K_2Cr_2O_7$  ve 20 ml yoğunlaştırılmış  $H_2SO_4$  ilave edilir. 20-30 dakika süre ile çalkalanır. Örnek 200 ml'ye saf su ile seyreltilir ve 10 ml yoğunlaştırılmış  $H_3PO_4$ , 0.2 g NaF, 1 ml difenilamin ilave edilir. Daha sonra demir amonyum sülfat çözeltisi ile titre edilir. Aynı işlemler blank olarak hazırlanan örnekler üzerinde de uygulanır. Sonuçlar ml cinsinden elde edilir. Bu sonuçlar üzerinden TOK içeriğinin tespit edilebilmesi için gerekli formülüzasyon kullanılarak değerler belirlenir.



Şekil 11. Otomatik agat havan

TİK içeriği İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi laboratuvarında Loring ve Rantala (1992) metoduna göre yapılmıştır. Bu metoda göre TİK analizi için ıslak örnekler 100 °C'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur ve agat havanda öğütülür. Kurutulmuş ve öğütülmüş çökel numunesinden 1 g alınarak 250 ml'lik erlene konur. 4 N HCl numunenin üzerine ilave edilir. Çıkan  $CO_2$  gazı hacimsel olarak ölçülür. Standart eğriyi oluşturmak için saf  $CaCO_3$ 'tan 0,02, 0,04, 0,08, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25 ve 0,3 gr tartılır ve 250 ml'lik erlene koyulur. Daha sonra yukarıdaki işlemler tekrarlanır ve standart eğri oluşturulur. TİK miktarı % ağırlık kalsiyum karbonat olarak örneklerin 4 N HCl ile muamele edilip çıkan  $CO_2$  gazının hacimsel olarak ölçülmesi ile hesaplanmıştır (Loring and Rantala, 1992).

### 2.3.3. Metal analizi

Karot çökellerinde metal analizleri Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü ICP-MS ve İstanbul Üniversitesi Biyoloji Bölümü Botanik Ana bilim dalı ICP-OES cihazları kullanılarak yapılmıştır. MD22A ve MD89A karotları ICP-OES’de MD88, İZ17 ve İZ30 karotları ICP-MS’de Al, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Cd ve Pb içeriği karot derinliği boyunca  $\text{mg.kg}^{-1}$  cinsinden ölçülmüştür. Metal analizleri için karotlarda; 30 cm’ye kadar 1 cm, 30-60 cm arası 2 cm, 60-100 cm arası 5 cm, 100 cm ve altı için 10 cm aralıklar ile örnekleme yapılmıştır.

Metal Analizleri için Çözünürleştirme İşlemleri: Toplam çözünürleştirmede kuvvetli asit karışımı kullanılarak kil mineralleri, diğer silikatlar, Fe ve Mn oksihidroksitler, karbonatlar ve organik madde gibi sediment malzemesi bünyesindeki ve sediment yüzeylerine adsorbe olmuş tüm ana (majör) ve eser (trace) metaller çözünmektedir. Toplam çözünürleştirme için teflon behere  $45^{\circ}\text{C}$ ’de kurutulmuş ve öğütülmüş sediment örneğinden 1 g alınır. Üzerine 10 ml  $\text{HNO}_3$  ilave edilerek, 30 dk boyunca hot plate de ısıtılır ( $120^{\circ}\text{C}$ ). Organik maddenin çözünmesi tamamlandığında açığa çıkan nitrik asit buharları renksizleşir. Daha sonra örnekler hot plate’den alınarak soğuması beklenilir. Soğuyan örneklerle 5 ml HF ve 5 ml  $\text{HClO}_4$  ilave edilir ve yaklaşık 30 dk süresince ara sıra karıştırarak ısıtıcıda ısıtılır. Isıtma işlemi tamamlandığında teflon içerisindeki çözünmüş halde olan örneklerle %1’lik  $\text{HNO}_3$  eklenerek 50 ml santrifüj tüplere alınır. Analiz süresine kadar buzdolabında saklanır.

ICP-MS ve -OES, katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı- niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 Kelvin sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron şoklayıcı bir detektöre tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir. Örnekteki tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında değişen oldukça kısa bir sürede ölçülür. Analizlerin doğruluğunu belirlemek için sertifika değerleri belirlenmiş olan NIST SRM 2710 Montana toprak referans malzeme aynı işlemlerden geçirilerek ICP-MS, Agilent 7500ce cihazında ölçülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4. Referans numunesinin (NIST SRM 2710) ölçüm sonuçları

| Element | NİST sertifika değerleri<br>( ppm) | Ölçüm sonuçları<br>(ppm) |
|---------|------------------------------------|--------------------------|
| Al      | 64400±8000                         | 65 000                   |
| Fe      | 33800±1000                         | 33 400                   |
| Mn      | 10820                              | 9506                     |
| Co      | 10                                 | 9,2                      |
| Cd      | 21,8                               | 21                       |
| Cr      | 39                                 | 42                       |
| Cu      | 2950±130                           | 2838                     |
| Ni      | 14,3±1                             | 14,8                     |
| Pb      | 5532±80                            | 5432                     |
| Zn      | 6952±91                            | 5745                     |

#### 2.3.4. Sediment kirlilik değerlendirmesi

Bir bölgede herhangi bir elementin doğal ve/veya antropojenik etkilerle yer kabuğunda zenginleşmesi ekolojik çevreye olumsuz etki oluşturabilmektedir. Bu zenginleşme çeşitli faktörlerle izlenmekte ve yorumlanmaktadır. Metaller; sanayi, tarım, endüstri vb. antropojenik yollarla çevreye salınmakta ve zaman içinde denizel ve karasal ortamlarda birikmektedir. Bu metallerin özellikle insan sağlığına olumsuz etki oluşturabilen ağır metallerin birikim konsantrasyonlarını belirlemek son derece önem arz etmektedir. Kirlilik değerlendirmeleri yapılırken söz konusu element için referans değer baz alınır. Bu referans değerler daha önceki çalışmalardan elde edileceği gibi güncel çalışma ile de belirlenebilmektedir. Tez kapsamında metal referans değerler için önceki çalışmalar kullanılmayıp, tez kapsamındaki karot çökelinin metal değerlerinden hesaplanmıştır. Karotun alt seviyeleri göreceli olarak yaşlı sedimanlardan oluştuğu için antropojenik kirlilikten etkilenmediği düşünülmekte ve bu seviyelerdeki metal değerler normal sınırdaki kabul edilmektedir (Sarı ve diğerleri, 2018). Tez kapsamında background değer; karotun alt seviyelerinde antropojenik kirlilikten etkilenmediği kil içeriği yüksek ve aynı zamanda metal değerleri düşük örneklerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasının kirlilik

değerlendirilmesinde; Zenginleşme Faktörü (EF), Kirlilik Faktörü (CF) ve Kirlenme Yük İndeksi (PLI) parametreleri kullanılmıştır.

#### 2.3.4.1. Zenginleşme faktörünün (EF) hesaplanması

Zaman içerisinde belirli süreçlerle taşınan doğal ve antropojenik kökenli elementler sucul ekosistemde birikmektedir. Belirli bir limitin üzerindeki değerler hem çevreye hem de ekolojik yaşama olumsuz etki göstermektedir. Herhangi bir elementin litojenik kabuk değerinden fazla çıkması bu tehtidi artırmaktadır. Metallerdeki zenginleşme faktörü (EF), karasal ya da sucul ekosistem çökellerinde antropojenik kaynaklı ağır metal kirlilik oranını tespit etmek için kullanılan bir çeşit göstergedir. Bu parametre, çeşitli normalizasyon elementleri ve farklı yöntemlerle belirlenen background (temel) değerlerinden faydalanılarak kullanılmaktadır. Zenginleşme faktörü, temsili bir elemente göre kimyasal normalizasyon yapılarak hesaplanır. İnce taneli sedimanların ana mineral grubu olan alüminosilikatları temsil etmesi açısından deniz çökellerinde normalizasyon için kullanılan en yaygın element alüminyumdur (Herut ve Sandler, 2006). Alüminyum, kırıntılı kayaçların mineralleri köken olarak karadan denize taşınır, göz ardı edilebilir bir antropojenik girdi teşkil eder ve denizel ortamda korunur (Çağatay ve diğerleri, 2006). Bu açıdan Al; tane boyu ve mineralojik farklılıkların normalizasyonu için kullanılabilir (Bertine ve Goldberg, 1977; Windom, 1989; Schropp ve diğerleri, 1990; Hanson ve diğerleri, 1993; Daskalakis ve O'Connor, 1995; Covelli ve Fontolan, 1997; Herut ve Sandler, 2006). Bu çalışmada normalizasyon için Al elementi seçildi. EF hesaplamasında 2.4 denklemi kullanıldı.

$$EF = \frac{(M/Al)_{\text{örnek}}}{(M/Al)_{\text{background}}} \quad (2.4)$$

EF değerlerinin yorumlanmasında ve ağır metal kirlilik seviyelerinin belirlenmesinde Sutherland'ın (2000) kategorizasyonu kullanıldı.  $EF \leq 2$  ağır metal zenginleşmesinin minimum değerden küçük olduğu, EF: 2 – 5 arası orta derecede zenginleşme, EF: 5 – 20 arası önemli derecede zenginleşme, EF: 20 – 40 arası çok yüksek miktarda zenginleşme ve  $EF > 40$ : aşırı miktarda zenginleşme olarak yorumlanmaktadır.

#### 2.3.4.2. Kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplaması

Kirlilik faktörü (CF), zenginleşme faktörü gibi antropojenik kirlilik değerlendirmelerinde ve çevresel kirlilik boyutunun ortaya çıkarılmasında sıklıkla kullanılan bir indekstir (Abraham ve Parker, 1980). Tez kapsamında karot çökel örneklerinin ağır metal kirlilik durumu ayrıca kirlilik faktörü (Cf) parametresi ile de değerlendirilmiştir. CF'nin hesaplanmasında aşağıdaki 2.5 denklemi kullanılmıştır.

$$Cf = \frac{M_{\text{örnek}}}{M_{\text{background}}} \quad (2.5)$$

$M_{\text{örnek}}$ : Çökel örneğindeki metal konsantrasyonu

$M_{\text{background}}$ : Metalin karottaki background değeri

CF'nin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında Hakanson (1980) kategorizasyonu kullanılmıştır. Buna göre;  $Cf < 1$  az kirlenme  $1 < Cf < 3$  orta kirlenme  $3 < Cf < 6$  önemli ölçüde kirlenme  $Cf > 6$  çok yüksek kirlenme olarak yorumlanmaktadır.

Kirlilik Yük İndeksi (PLI); kirlenme faktörü üzerinden hesaplanan bir parametredir. Bu indeks kirlilik boyutunu aynı numunede farklı elementlerin bir arada yorumlanmasında kullanılmıştır (Tomlinson ve diğerleri, 1980). Üzerinde çalışılan tüm ağır metalleri tek bir indekste topladığından entegre bir indeks olarak tanımlanabilir (Pehlivan, 2017). Kirlilik yük indeksi hesaplaması Thomlison ve diğerleri, 1980'e göre hesaplanmıştır.

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} * C_{f2} * C_{f3} * \dots * C_{fn}} \quad (2.6)$$

Cf: Kirlilik faktörü

n: Metal sayısı

Buna göre  $PLI > 1$  ise kirlilik var,  $PLI < 1$  ise kirlilik yok şeklinde yorumlanmaktadır.

#### 2.3.4.3. Sediment kalitesi sınıflaması (SQG)

Ağır metaller gibi toksik bileşikler, hayvanlarda ve bitkilerde kronik ve ölümcül etkiler yaratır (Kwon ve Lee, 1998). Ağır metal içeriğini basitçe karşılaştırmak yerine kirlilik seviyesini ve biyolojik etkiyi analiz etmek gerekmektedir (Kwon ve Lee, 1998). Kuzey Amerikada hem tatlı su hem de denizlerde, sucul ekosisteme endişe verici kirleticileri tanımlamak için birçok sediment kalite sınıflaması (SQGs) kullanılmaktadır (Mac-Donald ve diğerleri, 2000). Örneklem ve analitik prosedürler sediment kimyasını ve biyoçeşitliliği değiştirebilir (Pekey ve diğerleri, 2004). O sebeple SQGs yerinde koşulları kesinlikle yansıtmayacaktır (Pekey ve diğerleri, 2004). SQG verileri yalnızca bir tarama (izleme) yöntemi olarak kullanılmalıdır. Deniz ve nehir ekosistemi için geliştirilmiş iki SQGs seti (MacDonald ve diğerleri, 1996; Long ve MacDonald, 1998) mevcuttur (Tablo 5). Bunlar (a) the effect range low (etki aralığı düşük; ERL)/ effect range median (etki aralığı orta; ERM) and (b) the threshold effect level (eşik etki seviyesi; TEL)/ probable effect level (muhtemel etki seviyesi; PEL) değerleridir. Düşük aralık değerleri (ERL ve TEL), çökelti içerisindeki fauna üzerinde olumsuz etkilerin nadiren bekleneceği düşük konsantrasyonlardır. Buna karşılık, ERM ve PEL sedimentte yaşayan bentik canlılar için olumsuz etkilerin meydana gelme olasılığı olan yüksek konsantrasyonlardır (Long ve MacDonald, 1998).

Tablo 5. Elementlerin TEL<sup>a</sup>, PEL<sup>a</sup>, ERL<sup>a</sup> ve ERM<sup>a</sup> değerleri (µg/g)

| Element | TEL <sup>a</sup> | PEL <sup>a</sup> | ERL <sup>a</sup> | ERM <sup>a</sup> |
|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| As      | 7,2              | 41,6             | 8,2              | 70               |
| Cd      | 0,68             | 4,2              | 1,2              | 9,6              |
| Cr      | 52,3             | 160,4            | 81               | 370              |
| Cu      | 18,7             | 108,2            | 34               | 270              |
| Ni      | 15,9             | 42,8             | 20,9             | 51,6             |
| Pb      | 30,2             | 112,2            | 46,7             | 218              |
| Zn      | 124              | 271              | 150              | 410              |

(<sup>a</sup>) Long ve diğerleri, (1995)

#### 2.3.4.4. İstatistiksel analizler

Principal component analizi (PCA) metal verilerine uygulanarak metalleri benzerliklerine göre gruplandırmada kullanılan bir tekniktir. PCA, SPSS Statistics 21 uygulaması kullanılarak gerçekleştirildi. PCA; Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) değeri ( $>0.5$ ) ve Bartlett testi ( $P<0.001$ ) ve eigenvalue değeri ( $>1$ ) olarak belirlendi.

Pearson Korelasyon katsayısı ve çift fazlı testi  $\alpha=0.05$  ve  $\alpha=0.01$  anlamlılık değeri kullanılarak korelasyon analizi yapıldı.

#### 2.3.4. Cıva analizi

Doğal jeokimyasal ve/veya antropojenik kaynakların bir sonucu olarak cıva kontaminasyonu meydana gelebilir (Hugget ve diğerleri, 2001). Cıva sucul sisteme girdikten sonra, bir dizi transfere (sudan tortuya vb.) ve dönüşümlere ( $Hg^2+$  + ila  $CH_3Hg$ , vb.) uğrar (Zillioux ve diğerleri, 2003). Sucul organizmalar, beslenmeleri yoluyla, su sütununda veya sedimentte cıvaya maruz kalabilir (Hugget ve diğerleri, 2001). Cıva, deniz ürünlerinin dokularında öncelikle metil cıva formunda birikir. Kontamine gıda, insanlar için metil cıvaya maruz kalmanın başlıca yoludur (USEPA, 1977b). Yutulduktan sonra, tahmini olarak %95 metil cıva, gastrointestinal sistemden kana emilir. Kısa bir süre içinde 10-60 mg  $CH_3Hg/kg$  tüketilirse böbrek hasarı, kardiyovasküler çöküş ve ölüm meydana gelebilirken, uzun bir süre boyunca daha küçük metil cıva konsantrasyonları emildiğinde nörotoksisite ortaya çıkar (USEPA, 1977b). Tez kapsamında THg konsantrasyonu ölçülmüştür. Bu kapsamda metil cıva değeri ölçülmemiştir.

Karot çökeltileri cıva analizi için 0-30 cm arası 1'er; 30-60 cm arası 2'şer; 60-100 cm arası 5'er; 100 cm ve altı için 10 cm ile örneklenmiştir. Analiz İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Deniz Jeolojisi Laboratuvarında bulunan DMA-80 cıva analizörü kullanılarak yapılmıştır. Daha önce  $45^\circ C$ 'de kurutulmuş ve öğütülmüş örnekten 0.1 g tartılarak metal örnek kaplarına yerleştirilir ve ölçüm işlemi her bir örnek için 5 dk sürmektedir. Sonuçlar  $mg.kg^{-1}$  cinsinden verilmektedir.

#### 2.3.5. $^{14}C$ tarihleme metodu

$^{14}C$  yaş tayinleri TÜBİTAK MAM (Marmara Araştırma Merkezi)'da AMS (Accelerator Mass Spectrometry) yöntemi ile hızlandırılmış kütle spektroskopisi laboratuvarında yaptırılmıştır. Biyolojik ve jeolojik örneklerin yaşını belirlemede kullanılan oldukça hassas bir yöntemdir. Yaklaşık 50 bin yıla kadarki örneklerin yaş tayinini belirlemede

kullanılır. Organizmalar radyokarbon izotopunu atmosferden veya deniz suyundan alır. Canlıların yaşam süreci bittiğinde yaşam döngüsünden (su ve atmosfer) karbon alımı duracağı için  $^{14}\text{C}$  izotopu radyoaktif bozuşmaya başlar (Siani ve diğerleri, 2000). Parçalanmaya başlayan  $^{14}\text{C}$ , atmosferde bir denge durumuna varır ki bu olay 1 g karbon için 1 dakikada 15.3 parçalanmadır (Siani ve diğerleri, 2000). Yaşlar,  $^{13}\text{C}$  düzeltmesi yapıldıktan sonra  $^{14}\text{C}$  yılı hesaplanmıştır. Ayrıca Marmara Denizi rezervuar düzeltmesi (400 yıl) yapıldıktan sonra (Siani ve diğerleri, 2000), CALİB 7.1 programı kullanılarak hesaplanmıştır (Reimer ve diğerleri, 2004). Yaş tayini için karot çökellerinden ayıklanan ağaç ve kavk parçaları saf su da yıkanarak çökel malzemelerinden arındırılmış ve analiz edilmiştir.

#### **2.4. Mineralojik Analizler**

İzmit ve Gemlik Körfezlerinin mineralojik yapısını ve içeriğini ortaya çıkarmak için karot çökellerindeki kumlu seviyeler tercih edilmiştir. İncelenen karotlarda yüksek kum içeriği İZ17 ve MD22A karotlarında belirlenmiştir. Seçilen karotlarda mineralojik analizler için 10 cm aralıklarla alt örneklemeler yapılmıştır. Örnekler 63 mikrometre elek üstünde saf su ile yıkanarak çakıl ve kum içeriği ayıklanmıştır. Kum ve çakıl boyu malzeme etüvde 100°C de kurutulmuş daha sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde örnekler ince kesit haline getirilmiştir. İZ17 karotu için 14 ve MD22A karotu için 16 adet olmak üzere toplam 30 adet kesitte mikroskobik mineralojik çalışmalar yapılmıştır. Kesitler İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde polarizan mikroskobu altında incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

### **3. BULGULAR**

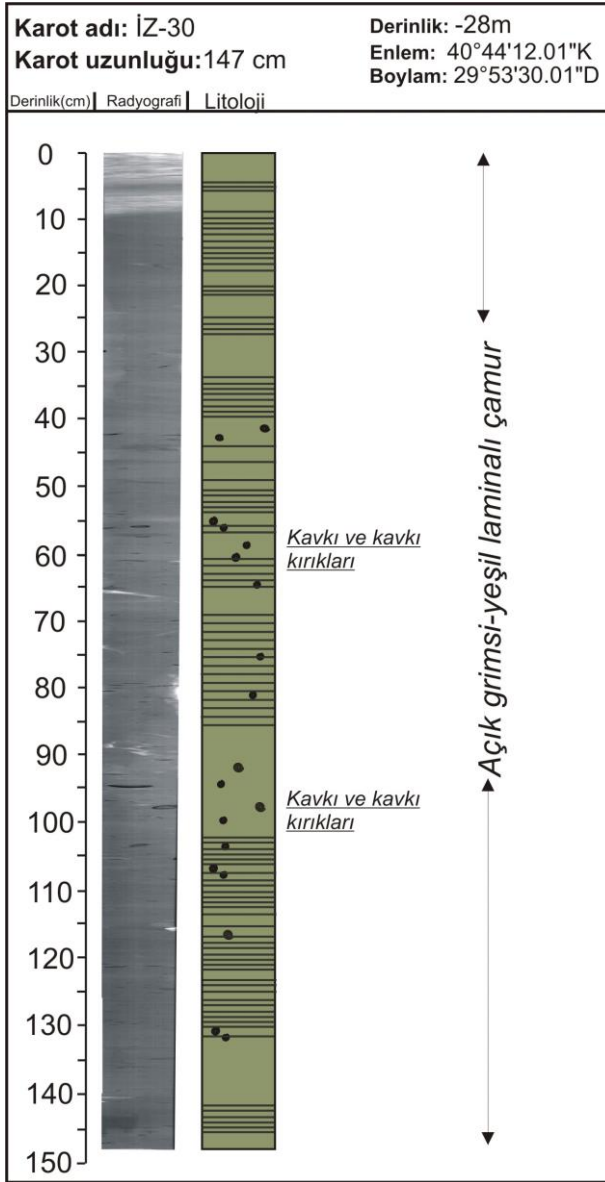
#### **3.1. Karotların Litostratigrafi**

Tez kapsamında kullanılan gravite karotları İstanbul Üniversitesine ait ARAR II gemisiyle 2014 yılı temmuz ayında alınmıştır. Karotlar enstitümüzün deniz jeolojisi laboratuvarında uzunlamasına iki eş parçaya ayrılmış, fotoğraflanmış ve ayrıntılı litolojik tanımlaması yapılarak, aşağıdaki alt başlıklarda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

##### **3.1.1. İzmit körfezi karotlarının litolojisi**

###### **İZ30 Karotu**

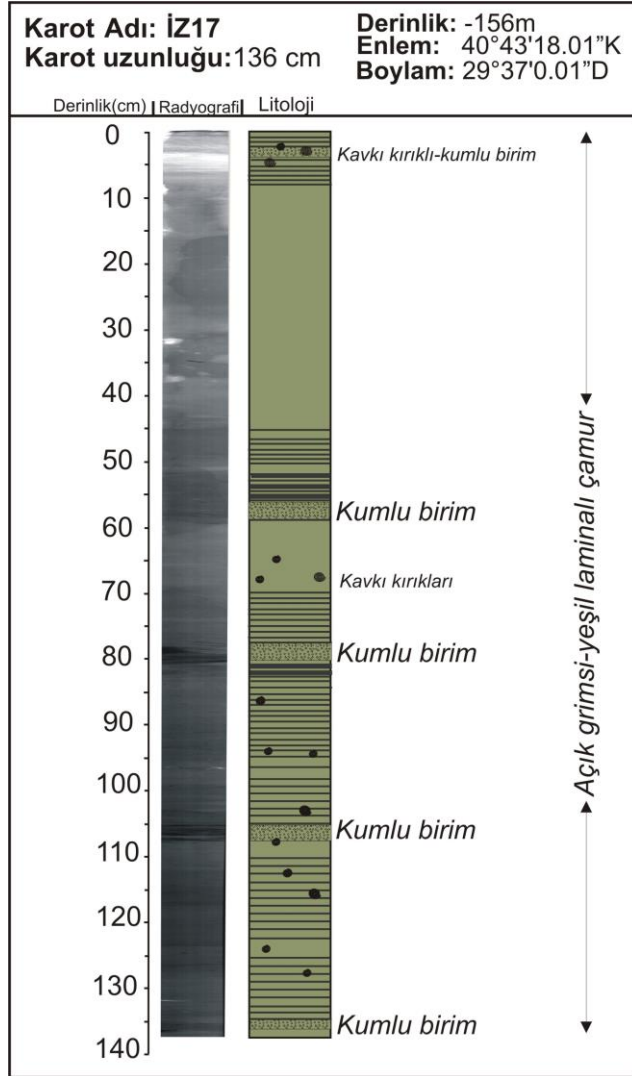
İZ30 karotu genel olarak açık grimsi-yeşil laminalı çamurdan oluşmaktadır. Karot boyunca litoloji pek değişmemektedir. Karotta yer yer kavkı ve kavkı kırıkları bulunmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. İZ30 karotunun litolojik logu

### İZ17 Karotu

İZ17 karotu genel olarak açık grimsi-yeşil laminalı çamurdan oluşmaktadır (Şekil 13).



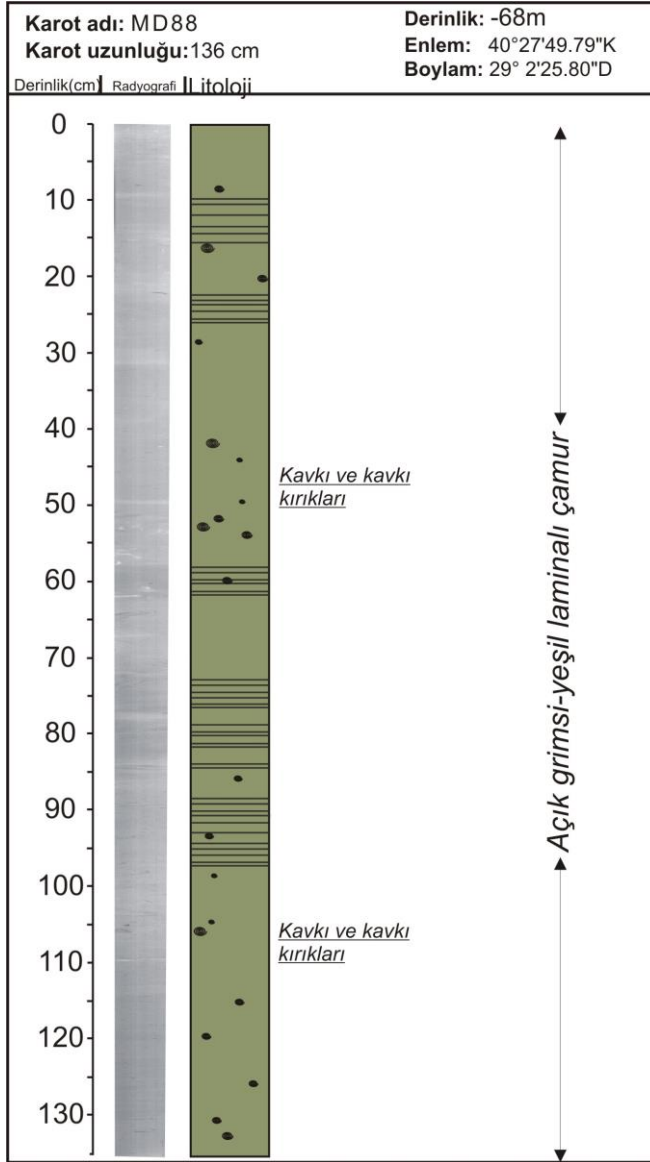
Şekil 13. İZ17 karotunun litolojik logu

Karotta 56-60 cm, 77-81 cm, 105-107 cm ve 135-137 cm arası açık-koyu gri kumlu birimler bulunmaktadır. Bu seviyelerdeki kum birimi kaotik bir yapıya sahip olup, kum içeriği %32'lere ulaşmakta ve üste doğru incelen bir istif sergilemektedir. Tane boyu, manyetik duyarlılık ve XRF verilerine de dayanarak bu seviyeler sismotürbiditik birimler olarak tanımlanmıştır (Bakınız Bölüm 3.3.1). Karot boyunca kavkıların tüm olmayıp, kırılmış şekilde bulunması sismotürbiditik oluşumu desteklemektedir.

### 3.1.2. Gemlik körfezi karotlarının litolojisi

#### MD88 Karotu

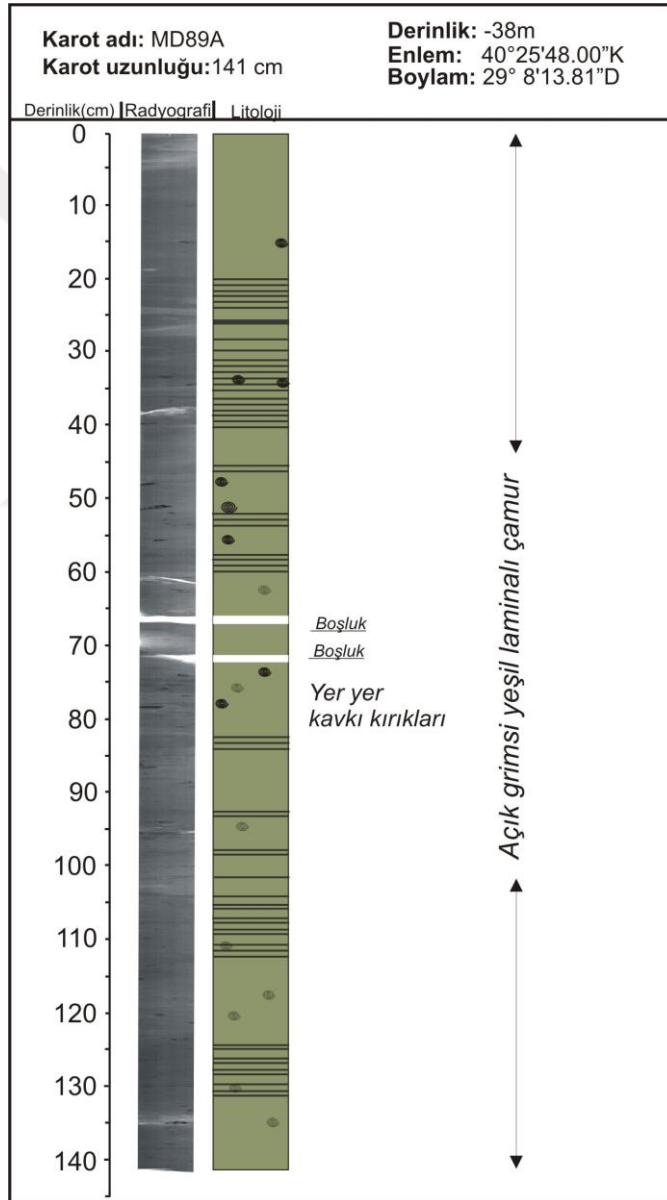
MD88 karotu açık grimsi-yeşil lamineal çamurdan oluşmaktadır. Karot boyunca litoloji pek değişmemektedir (Şekil 14). Karotta bol miktarda kavkı ve kavkı kırıkları bulunmaktadır.



Şekil 14. MD88 karotunun litolojik logu

### MD89A Karotu

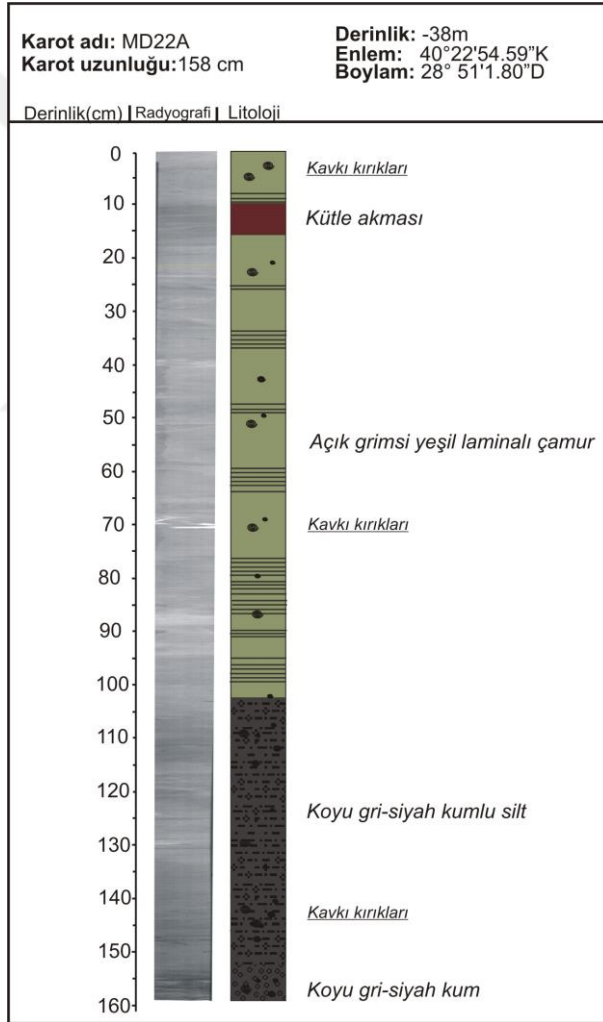
MD89A karot boyunca açık grimsi-yeşil laminealı çamurdan oluşmaktadır (Şekil 15). Karotta özellikle 20 ile 40 cm arası laminealı seviyeler yoğunlaşmaktadır. Karot boyunca kavkı kırıkları bulunmaktadır. 67-68 ile 72-73 cm'ler arası karota karşılık gelen seviyelerde sediment bulunmamaktadır. Muhtemelen karot çökelleri pvc borunun içinde iyi korunamamış ve çökel içerisinde su kaybı meydana gelmiştir. Böylelikle o seviyelerde çökel örneğinde bir boşluklu yapı oluşmuştur.



Şekil 15. MD89A karotunun litolojik logu

### MD22A Karotu

MD22A karotu 0-102 cm'ler arası yer yer kavkı kırıklı açık grimsi yeşil çamurdan oluşmaktadır (Şekil 16). Karotun 10-15 cm derinlikleri arasında koyu kırmızı kahverengi çamur bulunmaktadır. Bu seviye dokanağının radyografik görüntüde belirgin olması ve litofil element zenginleşmesi göstermesi nedeni ile kütle akması olarak nitelendirilmiştir. Karotta 102 ile 152 cm'ler tane boyu artmakta ve koyu gri-siyah kumlu siltli birime geçiş yapmaktadır. Tane boyu analizi ile korele edildiğinde bu seviyelerde kum miktarının arttığı gözlenmektedir. Karot tabanı (153-157 cm) kum boyu malzemedan oluşmakta ve bu seviyelerde kavkı kırıkları gözlenmektedir.



Şekil 16. MD22A karotunun litolojik logu

### 3.2. Karotların Kronolojisi

İzmit ve Gemlik Körfezlerinden alınan karotlarda 4 adet kavkı da AMS radyokarbon analizleri yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmuştur (Tablo 6). Kalibre edilmemiş  $^{14}\text{C}$  ölçümlerine Marmara Denizi'nin rezervuar efekt yaş düzeltmesi (400 yıl) uygulanarak kalibre edilmiş takvim yılı yaşları tespit edilmiştir.

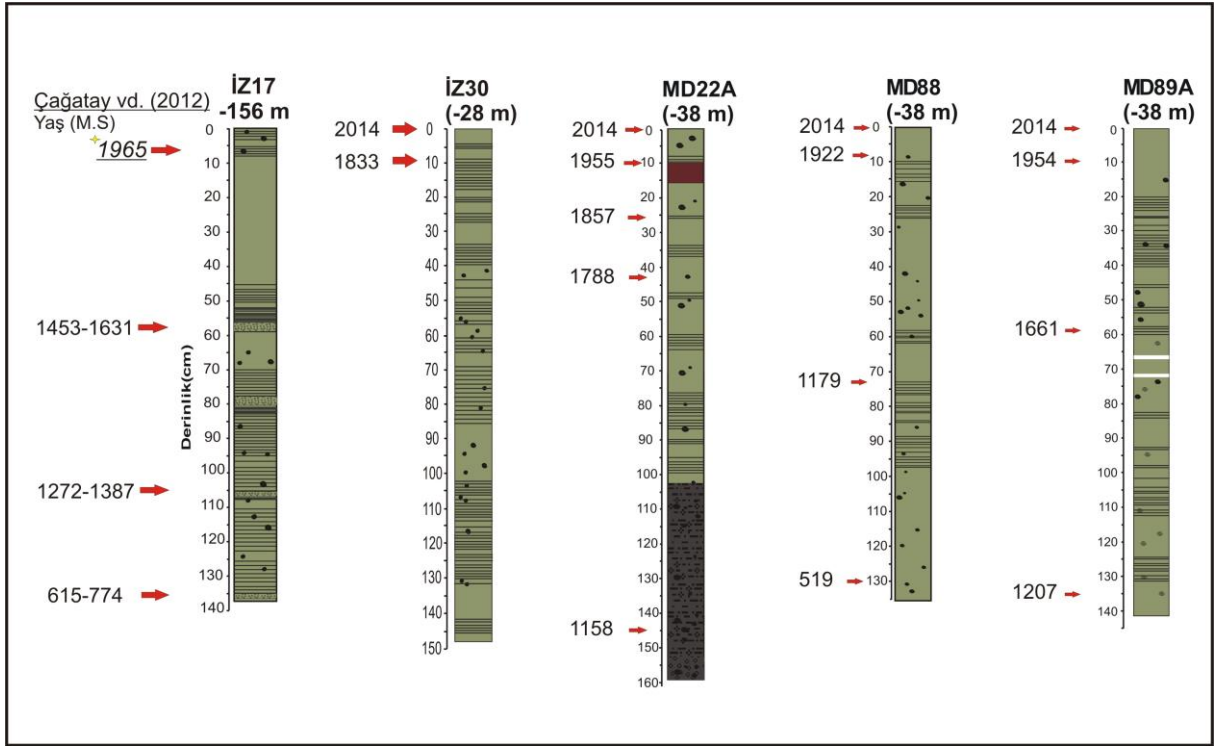
Tablo 6.  $^{14}\text{C}$  Yaş Tayini için örneklerin listesi ve analiz sonuçları

| Karot Adı | Derinlik (cm) | Fosil içeriği      | Kalibre edilmemiş yaş | Kalibre edilmiş yaş |
|-----------|---------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| İZ30      | 8-10          | Turitelle sp.      | 431±23                | MS 1833             |
| MD88      | 70-75         | Turitelle sp.      | 1197±24               | MS 1179             |
| MD89A     | 58-60         | Turitelle sp.      | 724±25                | MS 1661             |
| MD22A     | 140-150       | Turitelle sp.      | 1216±26               | MS 1158             |
| *İZ17     | 56-58         | Bentik foraminifer | -                     | MS 1453-1631        |
| *İZ17     | 105-106       | Bentik foraminifer | -                     | MS 1272-1387        |
| *İZ17     | 135-136       | Bentik foraminifer | -                     | MS 615-774          |

\*Çağatay ve diğerleri (2012)'den alınan yaşlar

-Veri yok

İzmit Körfezi, Karamürsel çukurluğundan alınan karotta (İZ17) tam (kırıksız) kavkıya rastlanmadığı için bu karotta yaşlandırma yapılmamıştır. Fakat, Çağatay ve diğerleri (2012) Karamürsel Çukurluğu'ndan İZ-115 karotunu alarak incelemiş ve bu karotta 3 adet  $^{14}\text{C}$  yaşını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada İZ-115 karotu ile İZ17 karotu litostratigrafik olarak eşleştirilmiş ve İZ-115 karotundaki  $^{14}\text{C}$  yaşları tez kapsamında kullanılmıştır (Tablo 6). Karotta eşleştirme işlemi yapılırken, her iki karottaki sismotürbiditler referans alınmıştır. Bu kapsamda İZ17 karotundaki 56-58 cm, 115-116 cm ve 135-136 cm'lerde tespit edilen sismotürbiditler yaşlandırılmıştır. Ayrıca her bir karotun çökelme hızları da hesaplanmıştır. Karotların en üstü 2014 yılı (karotların denizden alındığı yıl) olarak alındığında MD88 MD89A, MD22A ve İZ30 karotları için sırasıyla 0,8, 1,6, 1,7, 0,5 mm/yıl çökelme hızları bulunmuştur. Karotların genel kronolojisi şekil 17'de sunulmuştur.

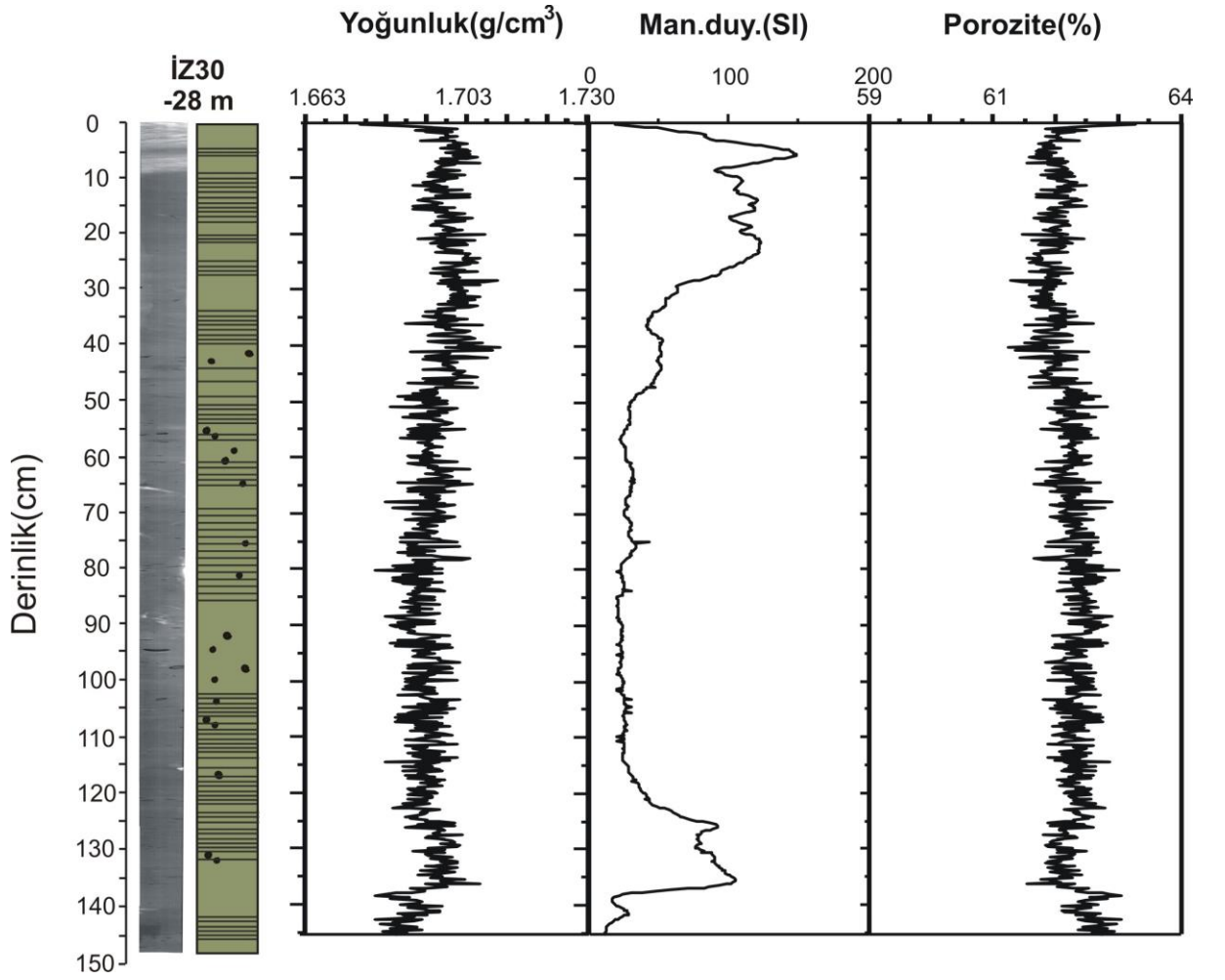


Şekil 17. Karotların genel kronolojisi

### 3.3. Karotların Fiziksel Özellikleri

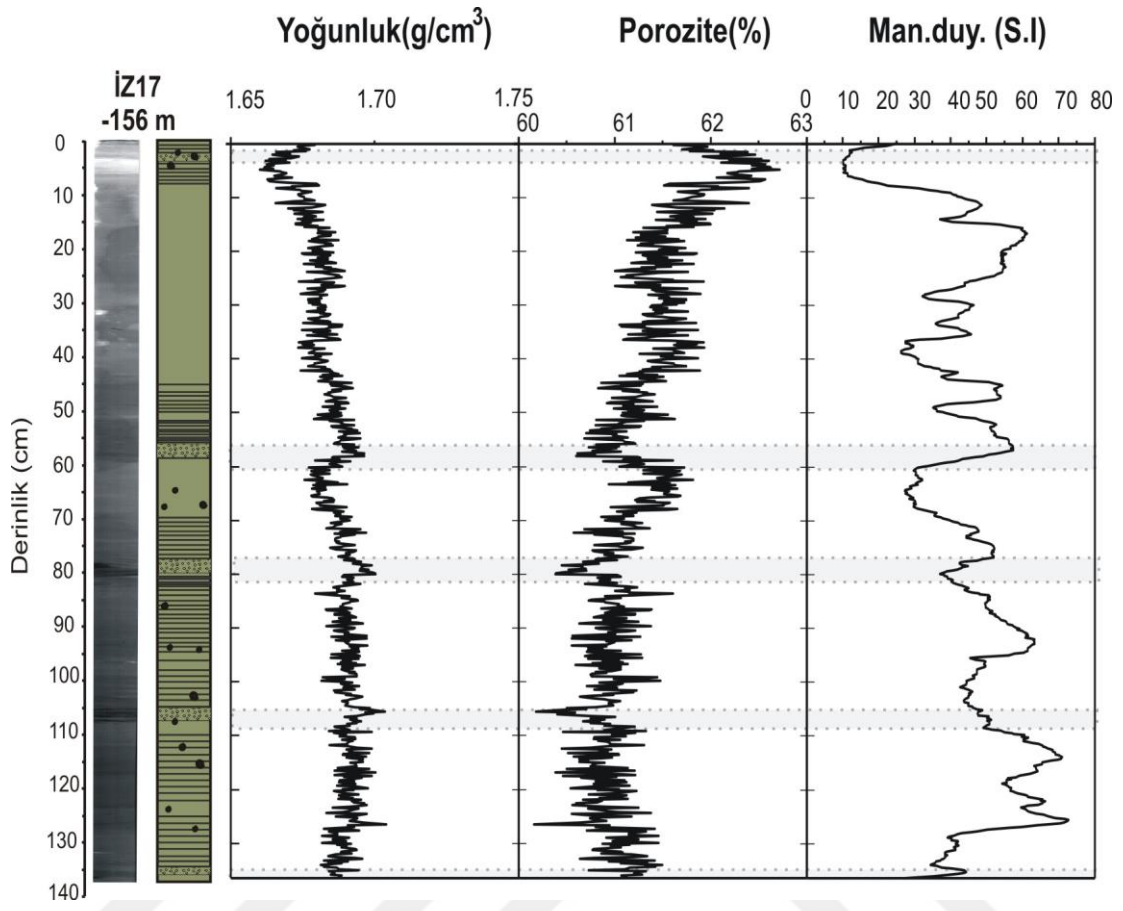
#### 3.3.1. İzmit Körfezi karotları

İZ30 karot çökelinin yoğunluk, manyetik duyarlılık ve porozite özellikleri ölçülmüştür. Karot yoğunluğu 1,66 ile 1,70 g/cm<sup>3</sup> arasında salınım göstermektedir (Şekil 18). Karot boyunca yoğunluk değeri pek fazla değişiklik göstermemektedir. Manyetik duyarlılık (MS) değeri 10 ile 148 SI arası değerler almaktadır. Karotun 4 ile 27 cm'ler arası MS değerleri 100 SI üzerinde değerler almaktadır. Bu seviyeden 120 cm'e kadar MS değerleri azalmakta ve 120 ile 130 cm'ler arası MS değeri tekrar artmaktadır. Porozite karot boyunca homojen salınım göstermekte ve %60 ile 62 arası değerler almaktadır.



Şekil 18. İZ30 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi

İZ17 karotunun fiziksel özellikleri olarak; yoğunluk, manyetik duyarlılık ve porozite özellikleri belirlenmiştir (Şekil 19). Karotta yatay bantlar olarak tespit edilen seviyeler; kütle akması ile ilişkili sismotürbiditik birimleri temsil etmektedir. Bu seviyelerde yoğunluk nispeten artarken porozite azalmaktadır. Şekil 16'daki yoğunluk değişim grafiğine göre karottaki yoğunluk 1,67 ile 1,70 g/cm<sup>3</sup> arasında salınım göstermektedir. Genel olarak yoğunluk değerlerinin karot boyunca pek fazla değişmediği görülmektedir.



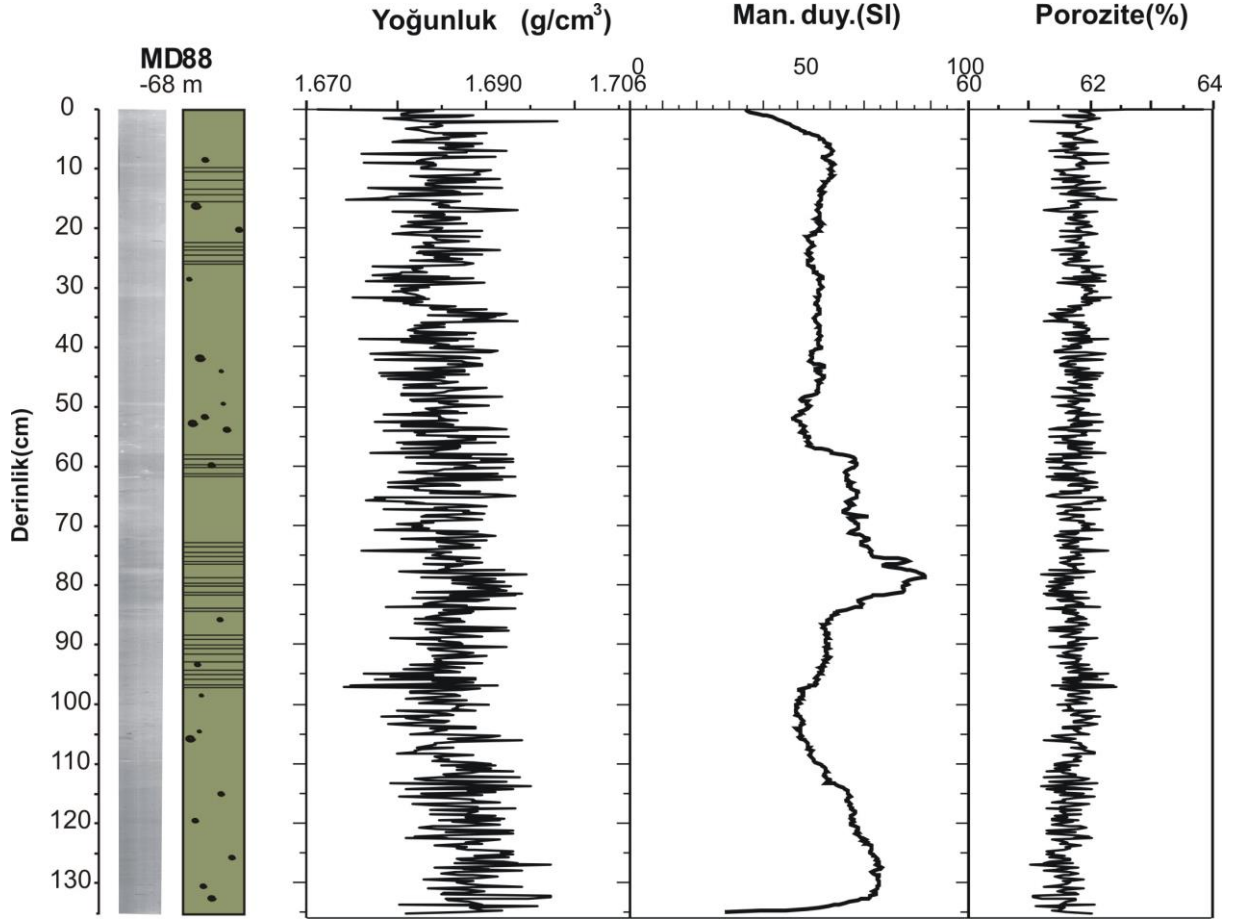
Şekil 19. İZ17 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi

Karot boyunca manyetik duyarlılık 10 ile 70 SI arasında değişmektedir. Karotun ilk 10 cm'sinde MS değerlerinin düşük olduğu gözlenirken (mak. 30,4 SI) bu seviyeden itibaren göreceli olarak artmakta ve 19 cm'de 60 SI değerine ulaşmaktadır. Alt seviyelere doğru değerlerde artma ve azalmalara bağlı olarak dalgalı bir yapı sergilenmektedir. Karotun 124 cm'sinde manyetik duyarlılık en yüksek değerine ulaşmıştır (70,27 SI). Porozite karot boyunca pek fazla değişmemekte %60 ile 67 arasında salınım göstermektedir.

### 3.3.2. Gemlik Körfezi karotları

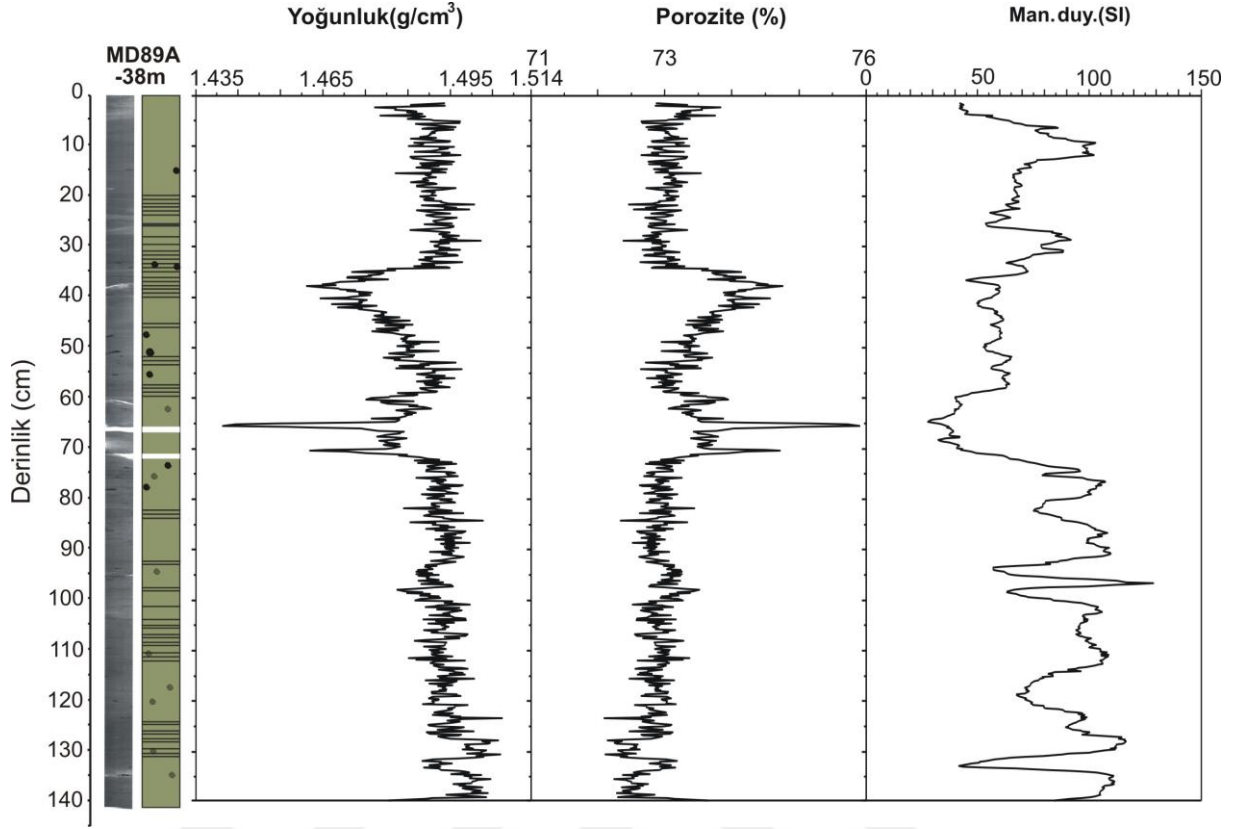
Gemlik Körfezi karotlarından MD88 karotunun fiziksel özellikleri (yoğunluk, manyetik duyarlılık ve porozite) ölçüldü (Şekil 20). Karot boyunca yoğunluk değerleri 1,64 ile 1,69 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Karotta manyetik duyarlılık 28 ile 90 SI arası değişmektedir. Grafiğe göre manyetik duyarlılık değerleri 77 cm ile 81 cm'leri arası en

yüksek değerlerde gözlenmektedir (mak 90 SI). Porozite yüzdesi karot boyunca pek değişmemekte %61 ile 62 arasında salınım göstermektedir.



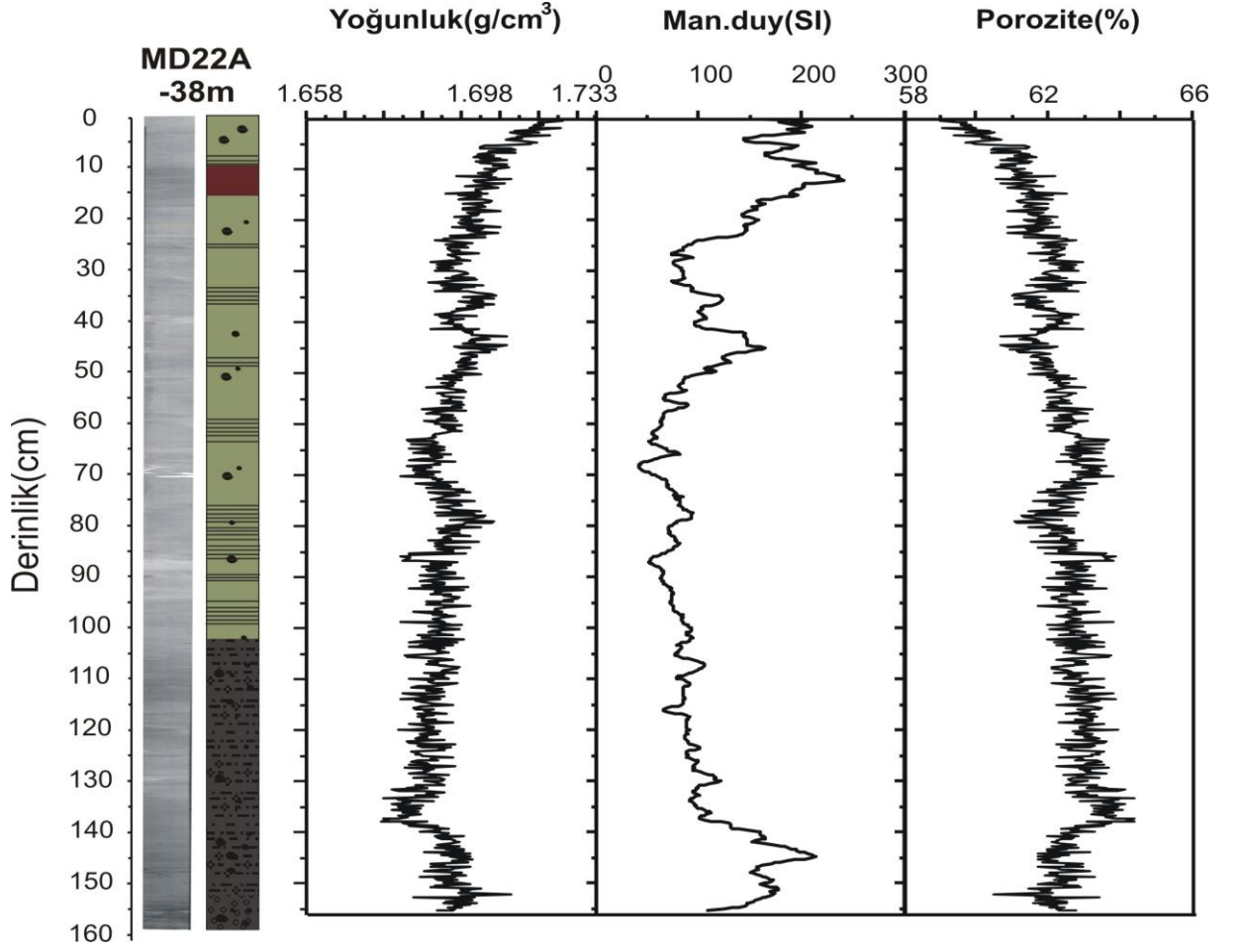
Şekil 20. MD88 karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi

MD89A karotunda yoğunluk 1.43 ile 1.51 g/cm<sup>3</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 21). Porozite değerleri %72 ile 76 arası değişim göstermektedir. Karotta 34 ile 74 cm'ler arası yoğunluk ve porozite değerlerinde gözlenen ani değişiklikler dışında her iki profil de sabit trend sergilemektedir. Bu seviyelerde yoğunluk ve porozite arasında ters ilişki gözlenmektedir. Özellikle 66 ve 72 cm'lerde minimum yoğunluk ve maksimum porozitenin gözlenmesi karotta bu seviyelere denk gelen kısımlarda sedimentin bulunmaması ile ifade edilir. Manyetik duyarlılık 26 ile 130 SI arası değerler almaktadır. Karotta MS değerleri 70 cm'ye kadar göreceli olarak düşük gözlenirken bu seviyeden karotun tabanına doğru artış gözlenmiştir.



Şekil 21. MD89A karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi

MD22A karotu manyetik duyarlılık değerleri 50,1 ile 240,2 SI arası salınım göstermektedir (Şekil 22). Karotun 0-24 cm ile 142,5 ile 152 cm'ler arası manyetik duyarlılık değerleri göreceli olarak yüksek gözlenirken karotta 24-142,5 cm'ler arası MS değerleri nispeten düşük değerler almaktadır. Karotta yoğunluk ve porozite değerleri ters ilişki sergilemektedir. Yoğunluk 1,68 ile 1,72 g/cm arası değişmektedir. Porozite %59 ile 62 arası değerler almaktadır.

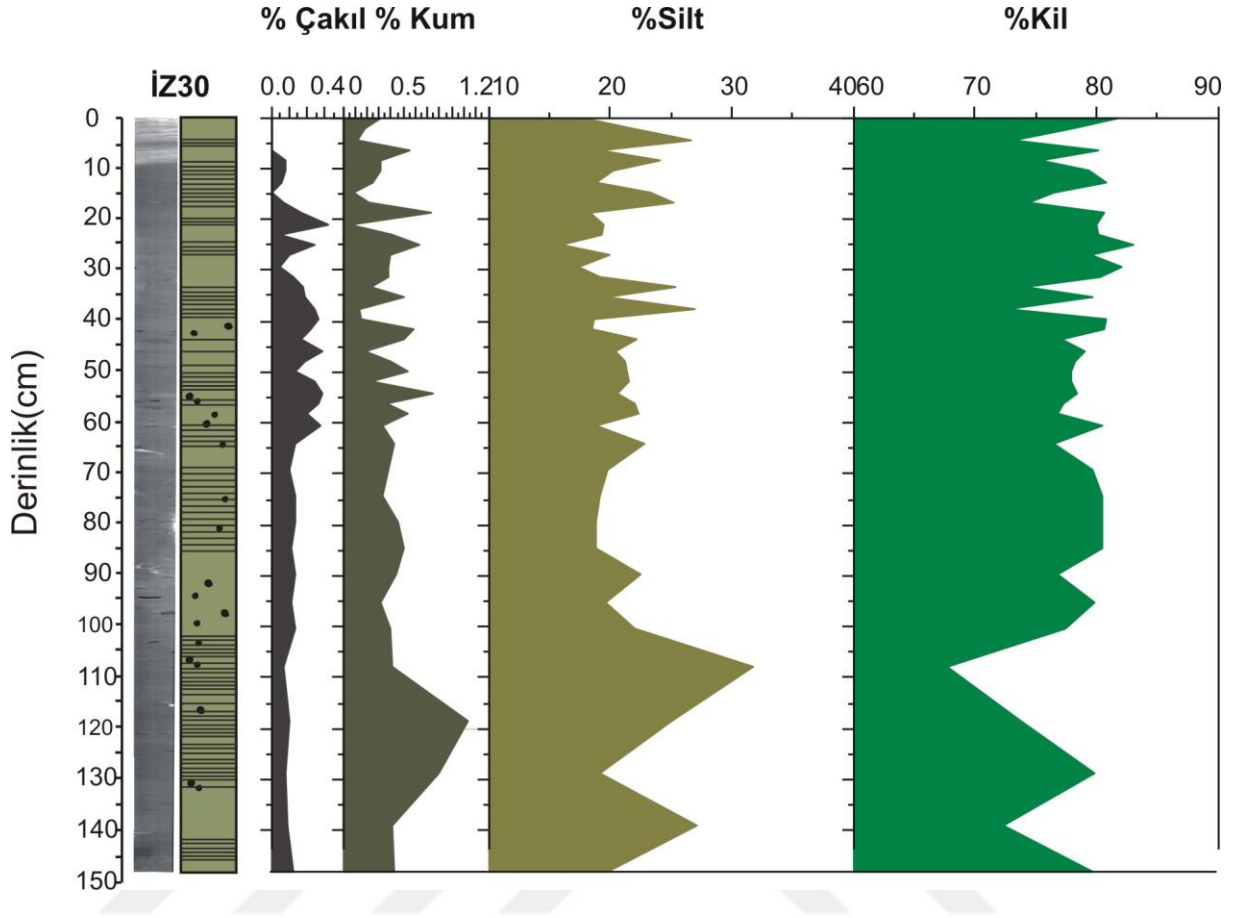


Şekil 22. MD22A karotunun fiziksel özelliklerinin karot derinliği boyunca değişimi

### 3.4. Tane Boyu Dağılımı

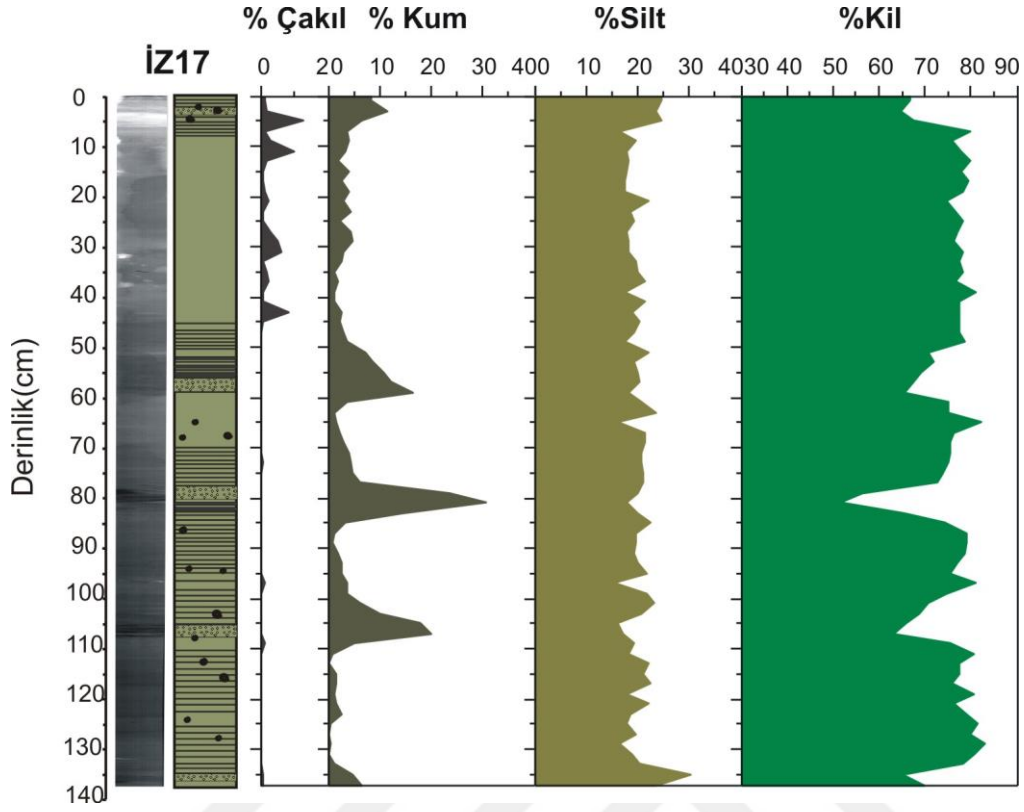
#### İzmit Körfezi

İZ30 karotunda toplam 43 adet örnekte tane boyu analizi yapılmıştır (Şekil 23). Karot çökeline çakıl 0 ile %0,3 arasında değişmekte olup, ortalama çakıl oranı %0,1'dir. Kum fraksiyonu %0,1 ile 1,1 arası değişmekte ve ortalama kum oranı %0,4'tür. Silt karot boyunca %16,1 ile 31,7 arası değerler almakta ve ortalama değeri %18,8'dir. Karot çökeli en fazla kilden oluşmaktadır. Kil oranı %67,7 ile 83,1 arası değişmektedir. Tane boyu analiz sonucuna göre İZ30 karot çökeli genel olarak kilden oluşmaktadır.



Şekil 23. İZ30 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı

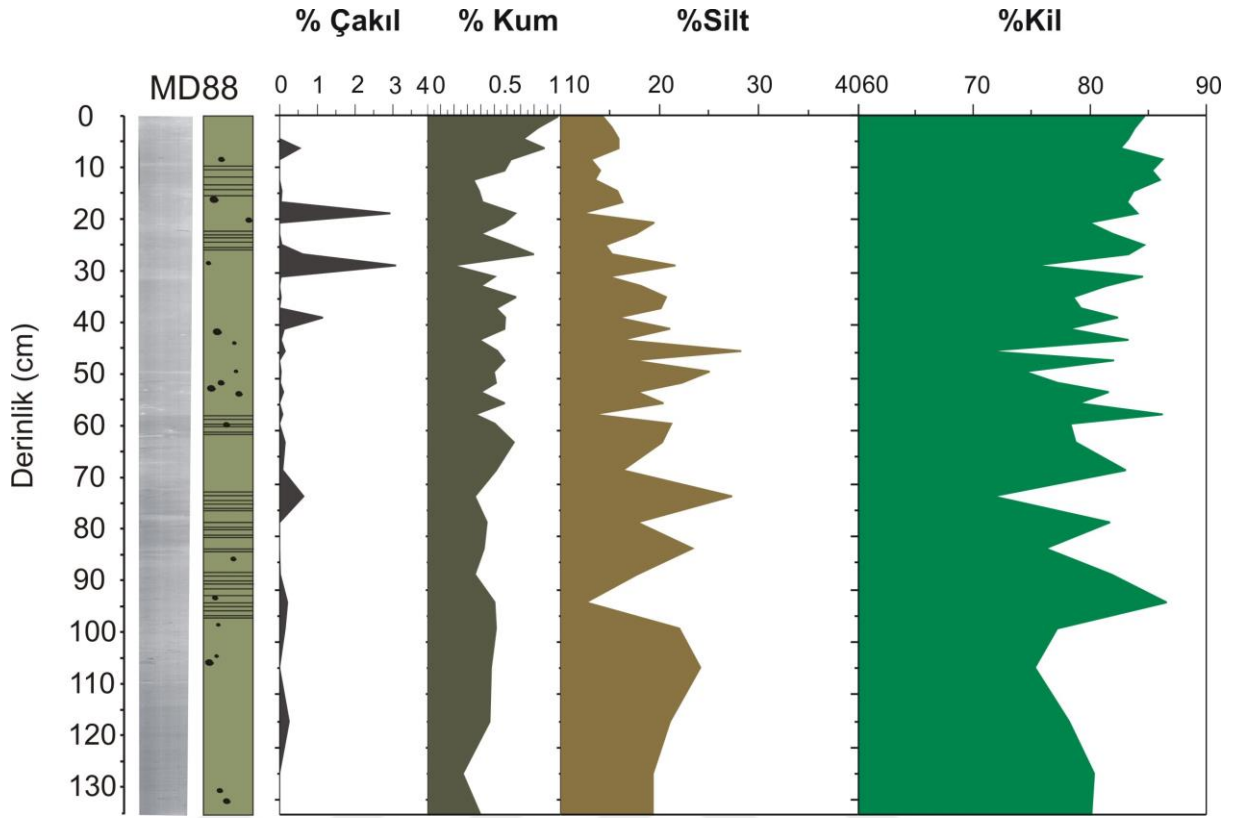
İZ17 karotunda toplam 69 adet örnekte tane boyu analizi yapılmıştır (Şekil 24). Karot çökeline çakıl miktarı %0,1 ile 1,3 arasında değişmekte ve ortalama çakıl oranı %0,1 olarak belirlenmiştir. Kum fraksiyonu %0,3 ile 30,5 arasında değişmekte ve ortalama kum oranı %7,4 olarak hesaplanmıştır. Kum miktarı karot boyunca en yüksek değerlerini (> %20) 78-81 ve 105-108 cm'leri arasında almaktadır. Silt karot boyunca %15,4 ile 30,2 arası değerler almakta ve ortalama silt değeri %24,1'dir. İZ17 karotundaki kil içeriği çakıl, kum ve silt değerlerinden oldukça yüksektir. Karot çökeline kil konsantrasyonu %51,5 ile 83,1 arasında değişmektedir. Tane boyu verileri İZ17 karot çökelinin genel olarak ince tanelerden oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 24. İZ17 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı

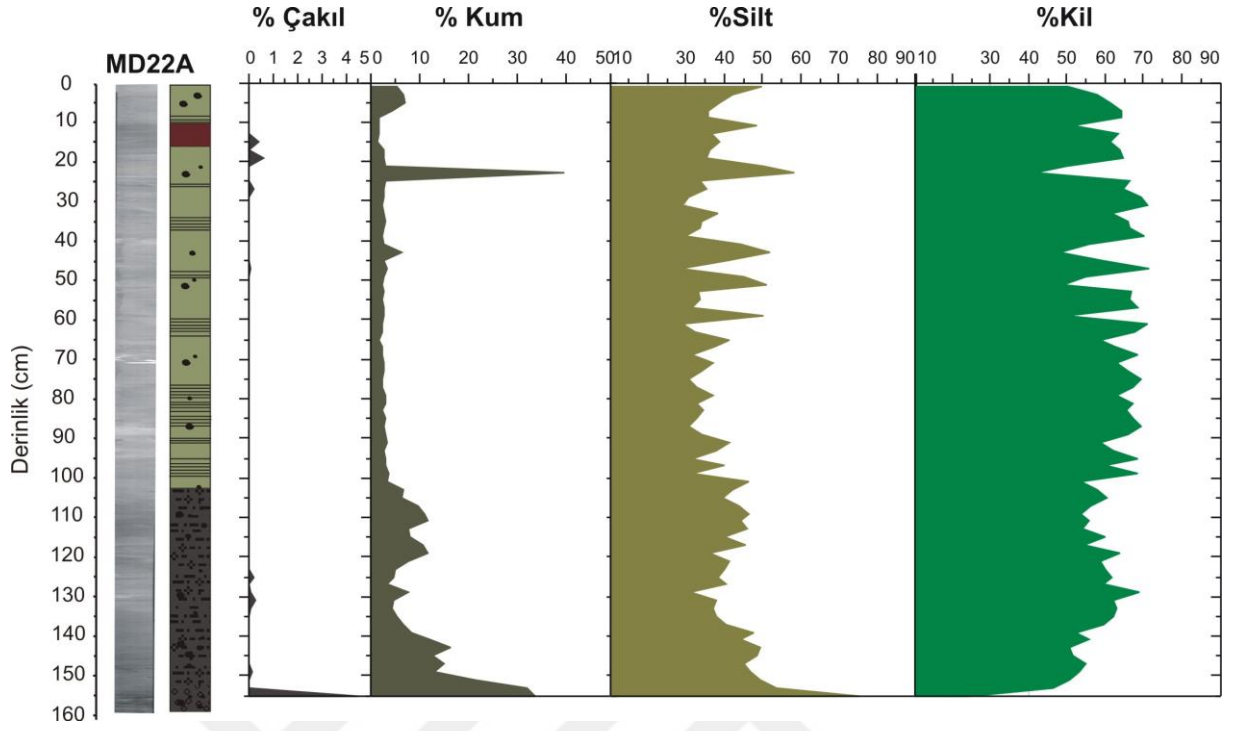
### **Gemlik Körfezi**

MD88 karotunda toplam 42 adet örnekte tane boyu analizi yapılmıştır (Şekil 25). Karot boyunca çakıl ve kum içeriği sırasıyla çok düşük gözlenmekte ve sırasıyla %0-0,4 ve %0-1 arasında değerler almaktadır. Kaba boyutlu malzemelerin (çakıl ve kum) çoğunluğu biyojenik kavkılardan oluşmaktadır. MD88 karotunda silt içeriği %12-27 ve kil içeriği %73-87 arasında değerler almaktadır. Karot genel olarak ince taneli kil fraksiyonun hakim olduğu çökellerden oluşmaktadır.



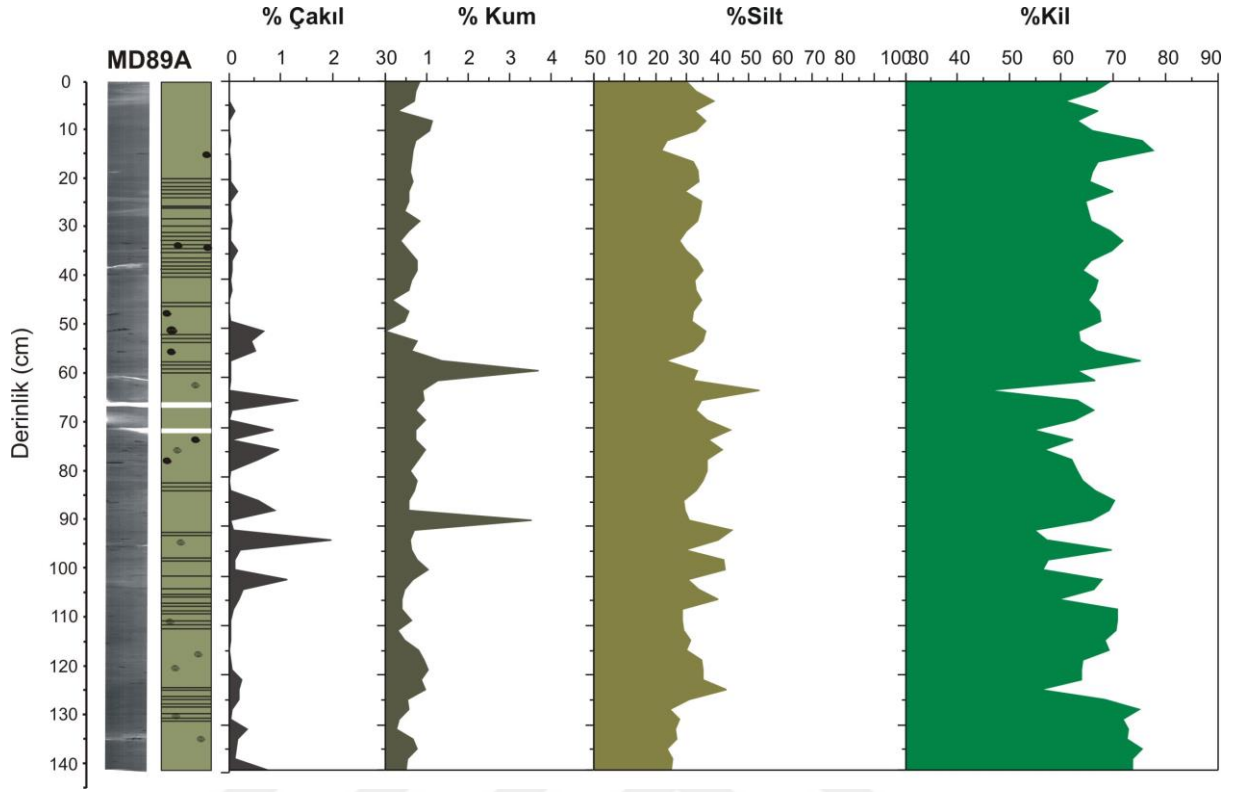
Şekil 25. MD88 karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı

MD22A karotunda toplam 78 adet örnekte tane boyu analizi yapılmıştır. Karot boyunca çakıl içeriği 0 ile %4,1 arası değerler almaktadır (Şekil 26). Çakılın nispeten arttığı seviyelerde kum içeriğinin yükseldiği belirlenmiştir. MD22A karotunda kum fraksiyonu %1,5 ile 39,5 arasında değişmektedir. Ortalama kum içeriği %6,3'tür. Silt karot boyunca %28,7 ile 75,4 arasında değerler almakta ve ortalama değeri %39,9'dur.



Şekil 26. MD22A karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil dağılımı

MD89A karotunda toplam 70 adet örnekte tane boyu analizi yapılmıştır. Karot boyunca çakıl içeriği 0 ile %1,9 arasında değerler almaktadır (Şekil 27). Karottaki çakıl fraksiyonlarının polarizan mikroskopta incelenmesi sonucunda; çakıl içeriğinin tamamen biyojenik kavkılardan oluştuğu görülmüştür. MD89A karot çökeline kum fraksiyonu 0 ile %3,7 arasında değişmektedir. Ortalama kum içeriği %0,7'dir. Karotun 63 ile 105 cm'ler arası nispeten yüksek gözlenen kum fraksiyonu ile birlikte çakıl yüzdesi biyojenik kökenli kavkı kırıklarının varlığı ile ilişkilidir. Silt karot boyunca %21,7 ile 53,3 arasında değerler almakta ve ortalama değeri %32,9'dur. MD89A karot çökeline ince tane boyutlu kil içeriği %45,8 ile 77,6 arasında değişmekte olup, ortalama kil konsantrasyonu %66,1 olarak hesaplanmıştır. Tane boyutu dağılımı açısından karot ince taneli kil ve silt boyutlu çökellerin hakim olduğu sedimentlerden oluşmaktadır.



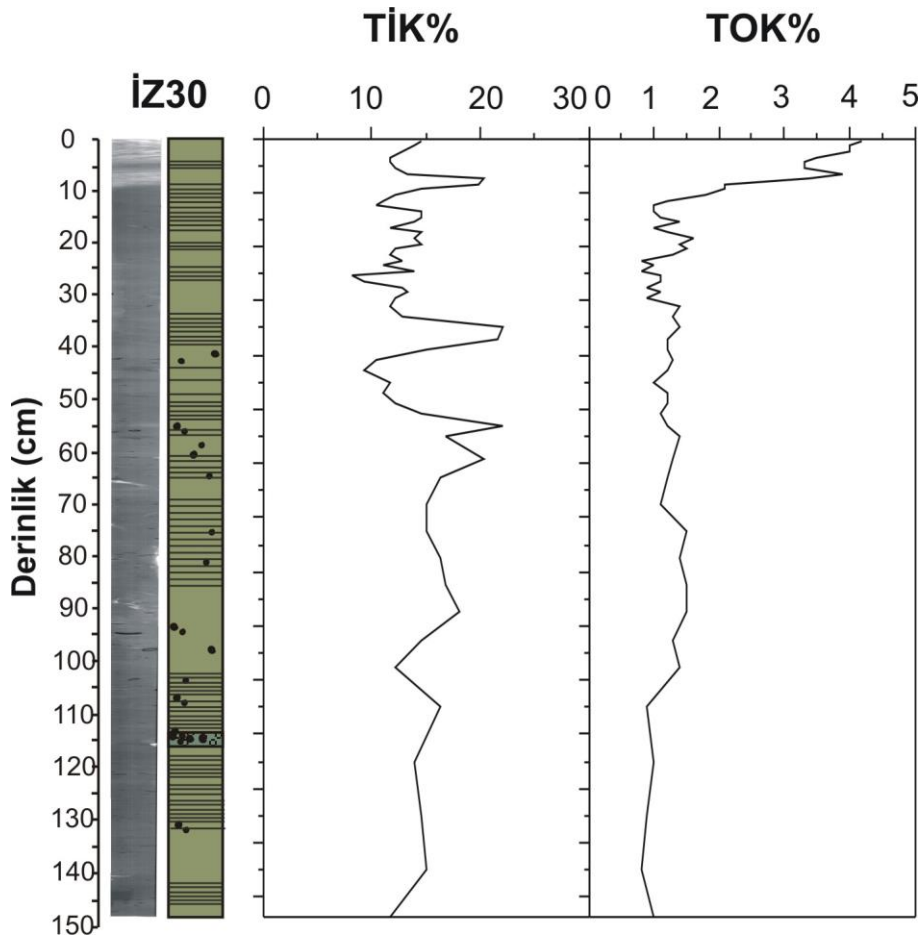
Şekil 27. MD89A karotu boyunca % çakıl, % kum, % silt ve % kil değerlerinin değişimi

### 3.5. Jeokimya Analizleri

#### 3.5.1. Toplam organik karbon ve toplam inorganik karbon analizleri

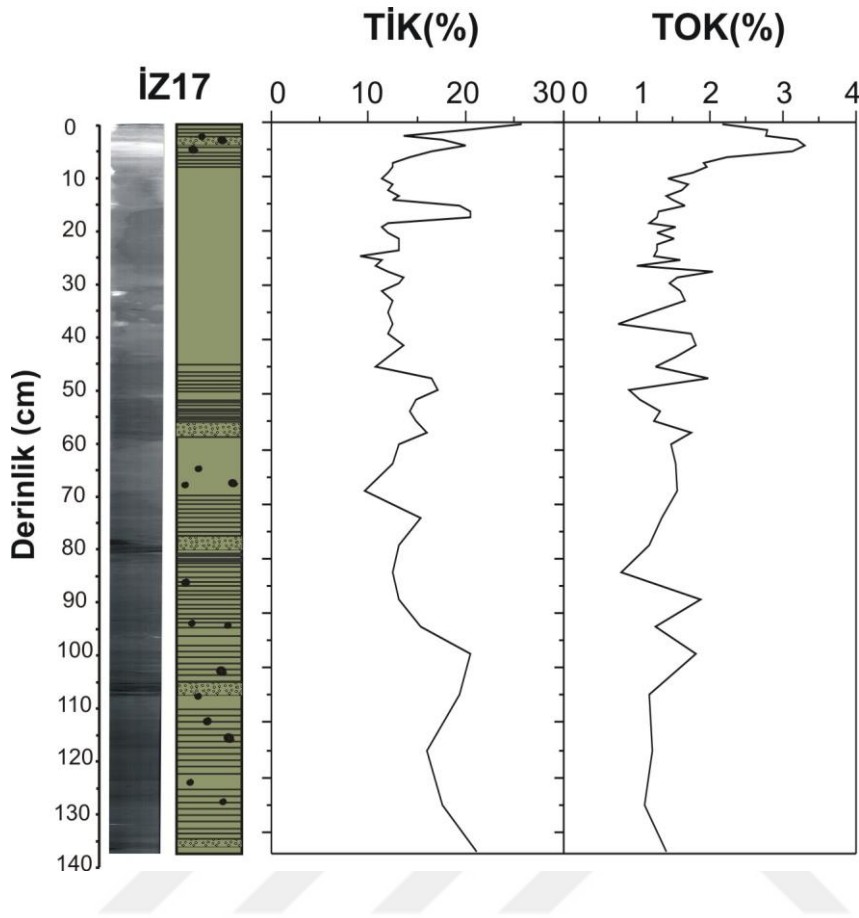
##### İzmit Körfezi

İZ30 karotu TİK içeriği %8,2 ile 22,2 arasında değişmektedir. Karotun 55 cm'sinden tabana doğru TİK yüzdesi göreceli olarak üst seviyelere göre nispeten daha yüksek değerler aldığı gözlenmektedir (Şekil 28). Karot çökeliindeki toplam organik karbon içeriği %0,8 ile 4,2 arasında salınım göstermektedir. Karotun ilk 8 cm'sinde organik karbon içeriği oldukça yüksek olup, ortalama %3,8'dir. Karotta 8 cm'den sonra organik karbon içeriği nispeten azalmaktadır. Bu seviyeden karot tabanına kadar TOK %2 ile 0,8 arası değerler almakta ve dar bir salınım göstermektedir.



Şekil 28. İZ30 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı

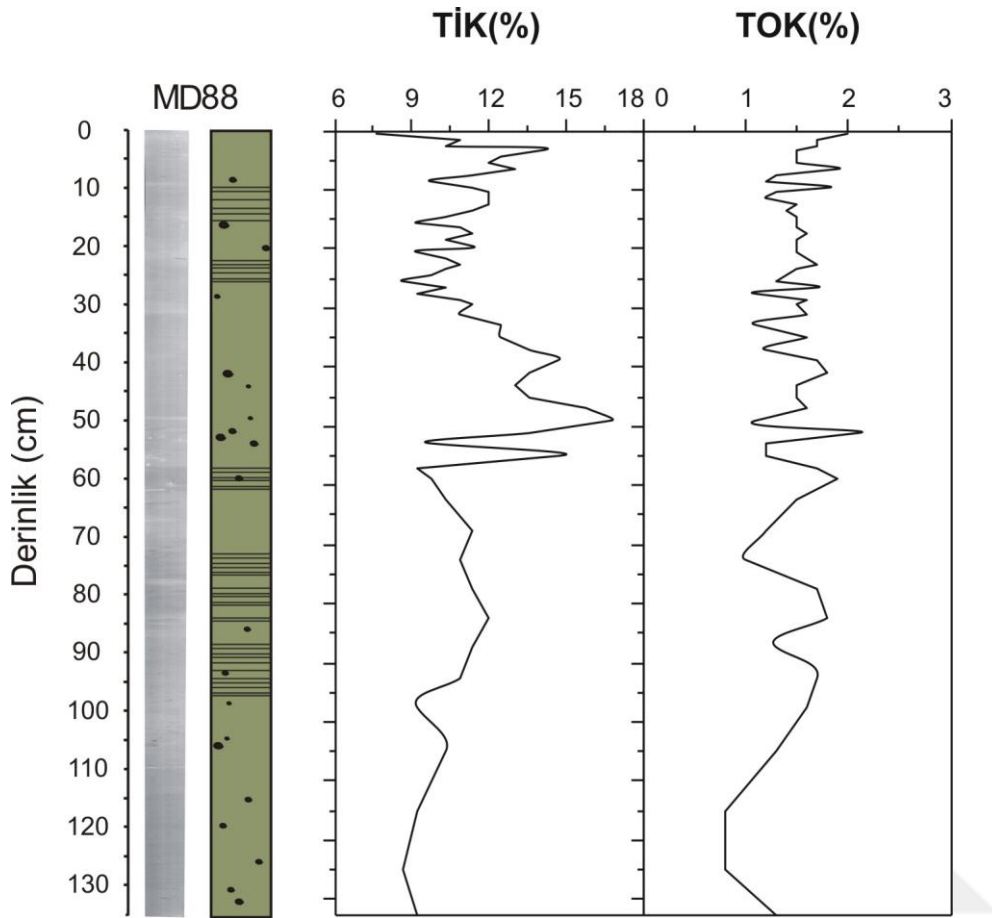
İZ17 karotunun TİK içeriği %9,1 ile 25,7 arasında değişmektedir. Genel olarak TİK değerleri ile TOK değerleri benzer bir trend sergilemektedir (Şekil 29). Karotun 0-1 cm'si TİK içeriğinin en yüksek olduğu seviyedir (%25,7). İZ17 karot çökeline karot boyunca ikinci en yüksek TİK değeri %20,6 ile 95-100 cm'ler arasında tespit edilmiştir. Yapılan ayrıntılı sedimentolojik incelemelerde yüksek TİK değerlerinin karottaki kavkılı seviyeye karşılık gelmesi TİK'nun biyogenik kökenli olduğunu göstermektedir. Toplam organik karbon içeriği %0,7 ile 3,3 arasında değişmektedir. Karotun ilk 10 cm'sinde organik karbon içeriği yüksek iken ( $> \%2$ ) alt seviyelere doğru bu değer göreceli olarak düşmektedir. Karotta kumlu birimin gözlemlendiği 78-82 cm'ler arası organik karbon değeri en düşük değerlerden birisini almaktadır (%0,79). Bu seviyeden alta doğru kavkılarının bulunduğu 95-97 cm arası organik karbon içeriği artmakta ve %1,8 değerine ulaşmaktadır.



Şekil 29. İZ17 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı

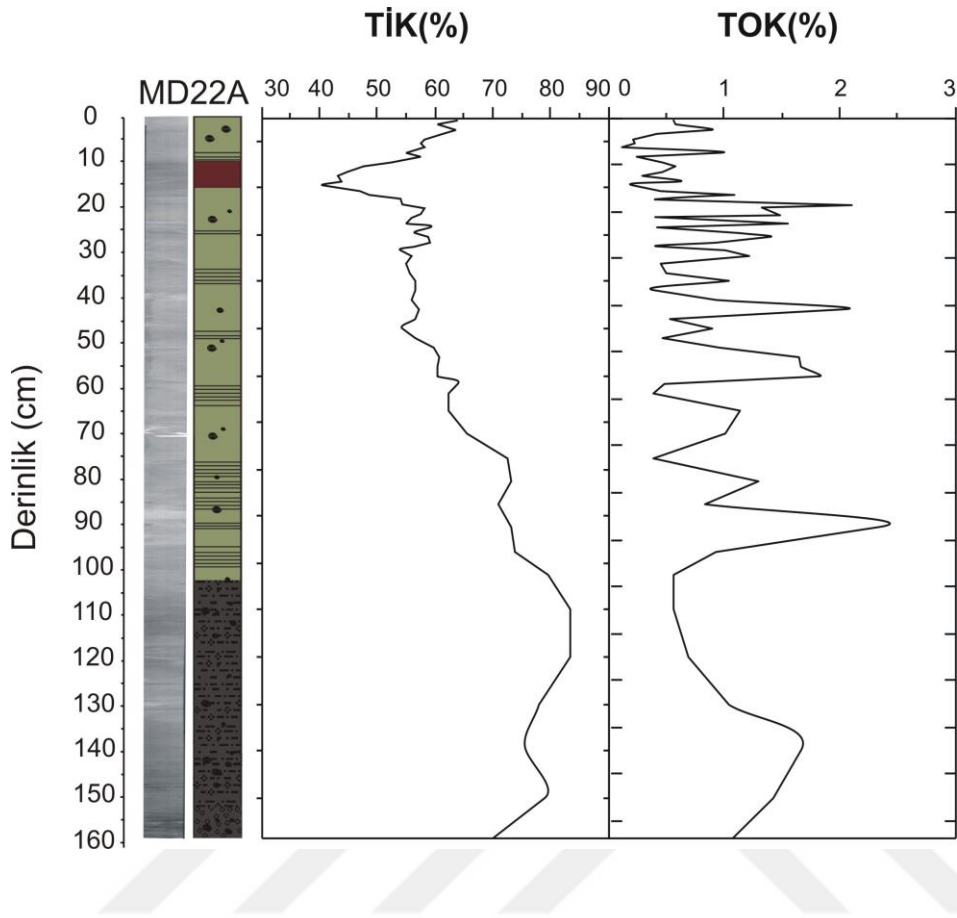
### **Gemlik Körfezi**

MD88 karotunda TİK içeriği %7,6 ile 16,8 arasında değişmektedir (Şekil 30). Karotta 0-31 cm arası TİK içeriği ortalama %10,8 iken 31 cm ile 51 cm arası artarak devam etmekte ve maksimum değeri (%16,8) 49 cm’de almaktadır. Karot çökelinde 51 cm’den tabana doğru TİK içeriği tekrardan azalarak küçük ölçekli salınımlarla devam etmektedir. Karotun organik karbon içeriği %2,1 ile %0,8 arası salınım göstermektedir. Karot boyunca ortalama organik karbon %1,5 değerindedir. Karot çökelinde 6,5 cm’ye kadar organik karbon içeriği %1,5 değerinin üzerindedir. Bu seviye ile 105 cm arası organik karbon %1 ile 2 arası salınım göstermektedir. Karotun tabanında organik karbon değeri düşmekte ve 115 cm’de %0,8 değerini almaktadır.



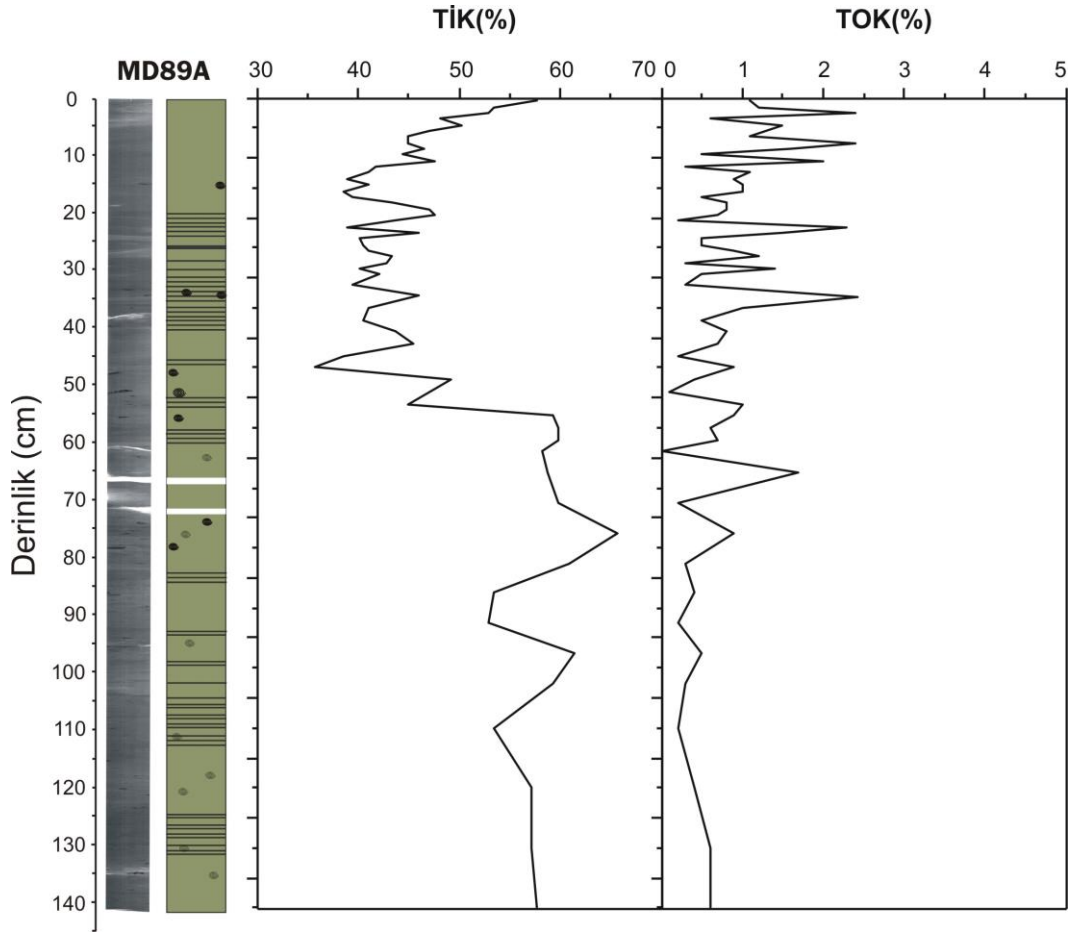
Şekil 30. MD88 karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı

MD22A karotunda TİK içeriği %40,6 ile 83,4 arası değerler almaktadır. TİK içeriği karotta kütle akması birimi içerisinde düşmekte ve yaklaşık %40 değerini almaktadır (Şekil 31). MD22A karotunun TİK içeriği, Gemlik Körfezi'nden alınan diğer karotlara göre (MD88, MD89A) daha yüksektir. MD22A karotunda TİK'nun maksimum olduğu değeri (%83.4) 115-125 cm'leri arasında ölçülmüştür. Karotta organik karbon içeriği %0.01 ile 2.4 arası salınım göstermektedir. Karot çökelinin 18,5 ile 87,5 cm'lerinde TOK %2'nin üzerinde değerler almaktadır. TİK'in maksimum değer aldığı 105 ile 115 cm'lerde organik karbon içeriği nispeten azalmakta ve %0.6 değerine düşmektedir. Karot tabanına doğru organik karbon içeriği tekrardan artmakta ve 135 cm'de %1.7 değerini almaktadır.



Şekil 31. MD22A karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı

MD89A karotunda TİK %35 ile 65 arası değerler almaktadır. TİK karotun üst seviyesinde (0-50 cm) düşük konsantrasyonlar gözlenirken 50 cm'den sonra TİK değerleri artmakta ve %65'lere ulaşmaktadır. Karot çökelindeki toplam organik karbon içeriği %0,02 ile 2,5 arasında salınım göstermektedir (Şekil 32). Ortalama TOK içeriği %0,9'dur. Karotun ilk 10 cm'sinde TOK değerleri göreceli olarak nispeten yüksek gözlenmektedir (Şekil 27). Karotun 33 cm'sinde organik karbon içeriği karot boyunca maksimum olan değerine (%2,5) ulaşmaktadır. Bu seviyeden karot tabanına doğru TOK değerleri azalarak devam etmekte ve 58 cm'de minimum değerini (%0,02) almaktadır.



Şekil 32. MD89A karotu boyunca TİK ve TOK dağılımı

### 3.5.2. XRF karot tarayıcı analizleri

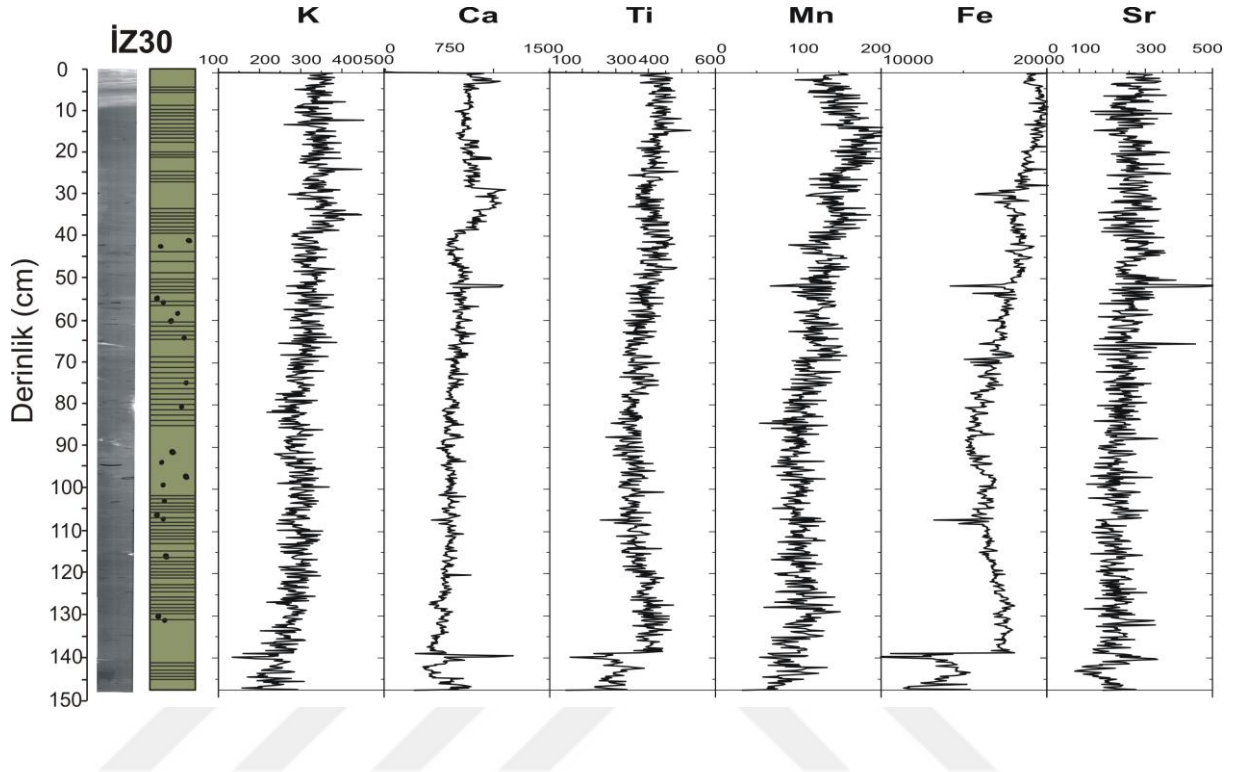
#### İzmit Körfezi

Toplamda her bir karotta 6 adet elementin (K, Mn, Fe, Ca, Ti ve Sr) ölçümleri yapılmıştır. Her bir element profili Panplot ve Corel Draw12 de çizildi. Sonuçlar saniyedeki sayımdır (cps).

#### İZ30 Karotu

İZ30 karotunda Potasyum (K) değerleri 110 ile 450 cps arasında değişmektedir (Şekil 33). K trendi göreceli olarak nispeten alta doğru azalarak devam etmektedir. Organik üretkenliğin bir belirtici olan kalsiyum (Ca) ve stronsiyum (Sr) elementlerinin dağılımları (artma-azalma) benzer salınım göstermektedir. Karotta yaklaşık 52 cm'ye denk gelen kısımda Ca ve Sr elementleri pik yapmaktadır. Bu seviyede gözlenen artış kavkı varlığı ile ilişkilidir.

Benzer şekilde karotta 137-142 cm'ler arası Ca ve Sr artarken titanyum (Ti) ve demir (Fe) elementleri azalmaktadır.



Şekil 33. İZ30 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps).

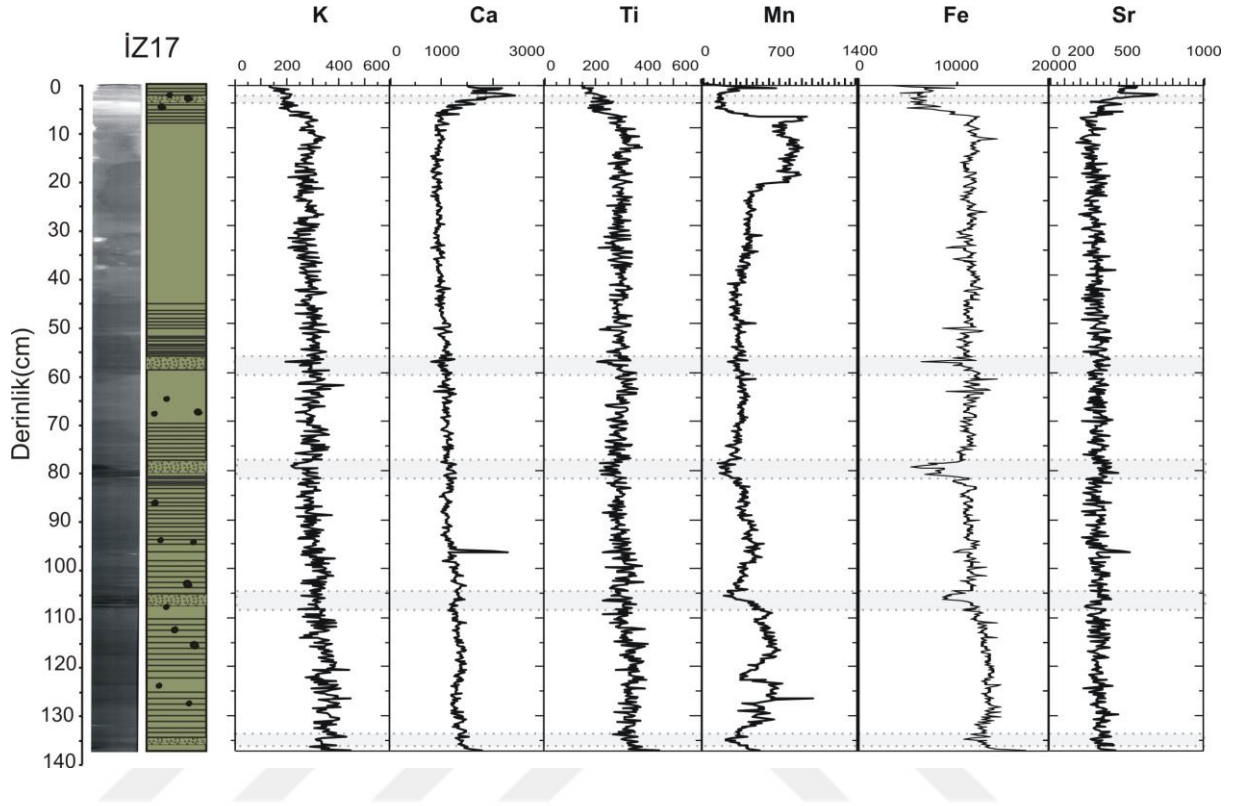
Karasal kırıntı girdisi belirteci olan Ti ve Fe elementleri grafikte Ca ve Sr elementleri ile ters salınım göstermektedir. Titanyum 150 ile 500 cps arası salınım göstermektedir. Karot tabanında gözlenen ani azalma dışında genel olarak sabit bir trend sergilemektedir. Fe elementi de Ti ile benzer dağılım göstermekte ve 10000 ile 20000 cps arası değerler almaktadır.

Mangan (Mn) 50 ile 200 cps arası değerler almaktadır. Mn karot başında 150 cps değerini alırken karot tabanına doğru azalan trend sergilemektedir.

#### İZ17 Karotu

İZ17 karotunda kırıntı girdisi ile ilişkilendirilen K ve Ti profillerinde gözlenen artma ve azalmalar birbirleri ile uyumlu trend sergilemektedir (Şekil 34). K değerleri pek değişiklik göstermemekle birlikte genel trend 200 cps ile 400 cps arasında değişmektedir (Şekil 34). Ti elementi de K'a benzer bir trend sergilemektedir. Karotun üst kısmında (0-6 cm) değerler düşük gözlenirken bu seviyeden itibaren değerler artmaktadır. Bunun tersi salınım gösteren

Ca ve Sr elementleri ise karotun 0-6 cm'sinde nispeten yüksek gözlenirken bu seviyeden itibaren değerler azalmakta ve karot sonuna kadar sabit bir trend göstermektedir.



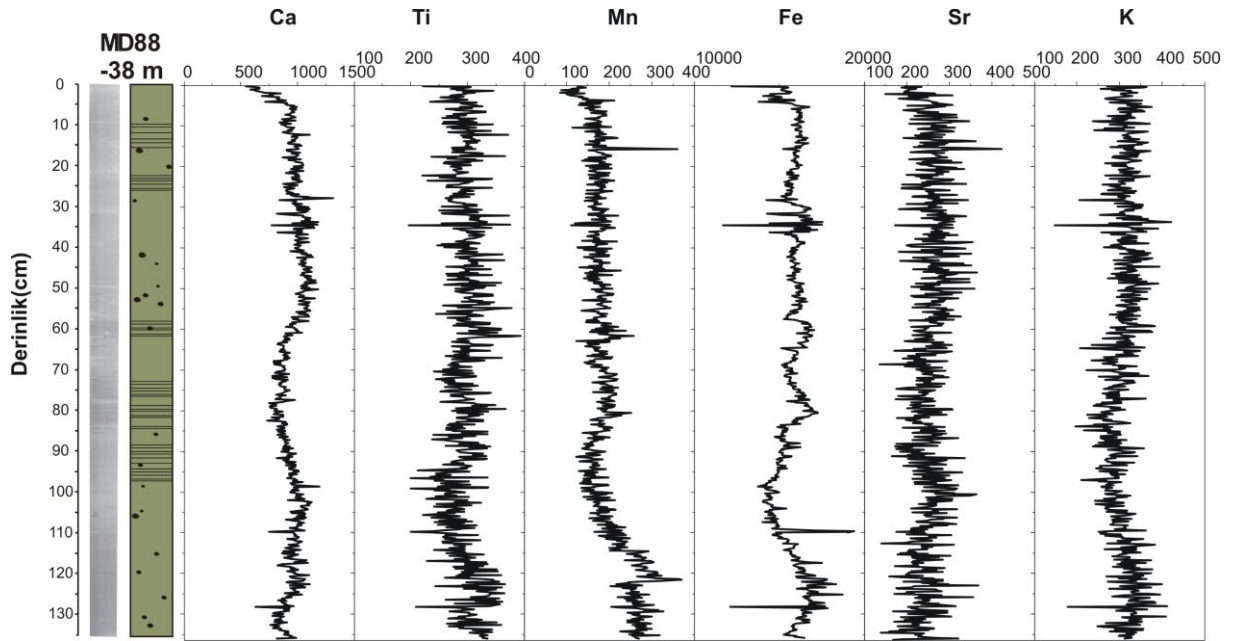
Şekil 34. İZ17 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps).

Mn ve Fe redoks parametresinde kullanılan belirleyici elementlerdendir. Redoksa duyarlı olan bu elementler çökel içerisinde redoks cephelerinde zenginleşme gösterirler (Thomson ve diğerleri, 1995; Çağatay ve diğerleri, 2004, 2012; Chaillou ve diğerleri, 2008). Demir elementi bunun dışında bazen de kırıntı girdisi ile ilişkilendirilmektedir. İZ17 karotunda kaotik seviyelerde Mn ve Fe elementleri düşük değerler alırken bu seviyelerin üstünde değerler aniden artmaktadır. Mn karot boyunca 100 ile 1000 cps arası değerler alırken Fe elementi 400 ile 1500 cps arası değerler almaktadır.

## Gemlik Körfezi

### MD88 Karotu

MD88 karotunda Ca elementi yaklaşık 500 cps ile başlamakta karotun 28 cm'sinde yaklaşık 1200 cps değerine ulaşmakta, 60 ile 80 cm arasında azalarak devam etmekte ve 80 cm'den sonra Ca eğrisi artarak devam etmektedir (Şekil 35). Sr elementi Ca elementi ile benzer salınım göstermekte ve trend 130 cps ile 423 cps arasında değişmektedir.



Şekil 35. MD88 karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps).

Demir değerleri karot boyunca pek fazla değişmemekte ve 12205 ile 20695 cps arası salınım göstermektedir. Karotta 110 cm den sonra nispeten artan trend sergilemektedir. Demir, Ti elementi ile benzer profil sergilemektedir. Titanyum 200 ile 400 cps arası değerler almaktadır. Karot tabanına doğru göreceli olarak artan bir trend göstermektedir. Potasyum, Ti ile uyumlu hareket etmekte ve 100 ile 400 cps arası salınım göstermektedir.

Redoks parametresi olan Mn 100 ile 400 cps arası değerler almakta ve 115 ile 120 cm'ler arası Mn değerinde artış gözlenmektedir.

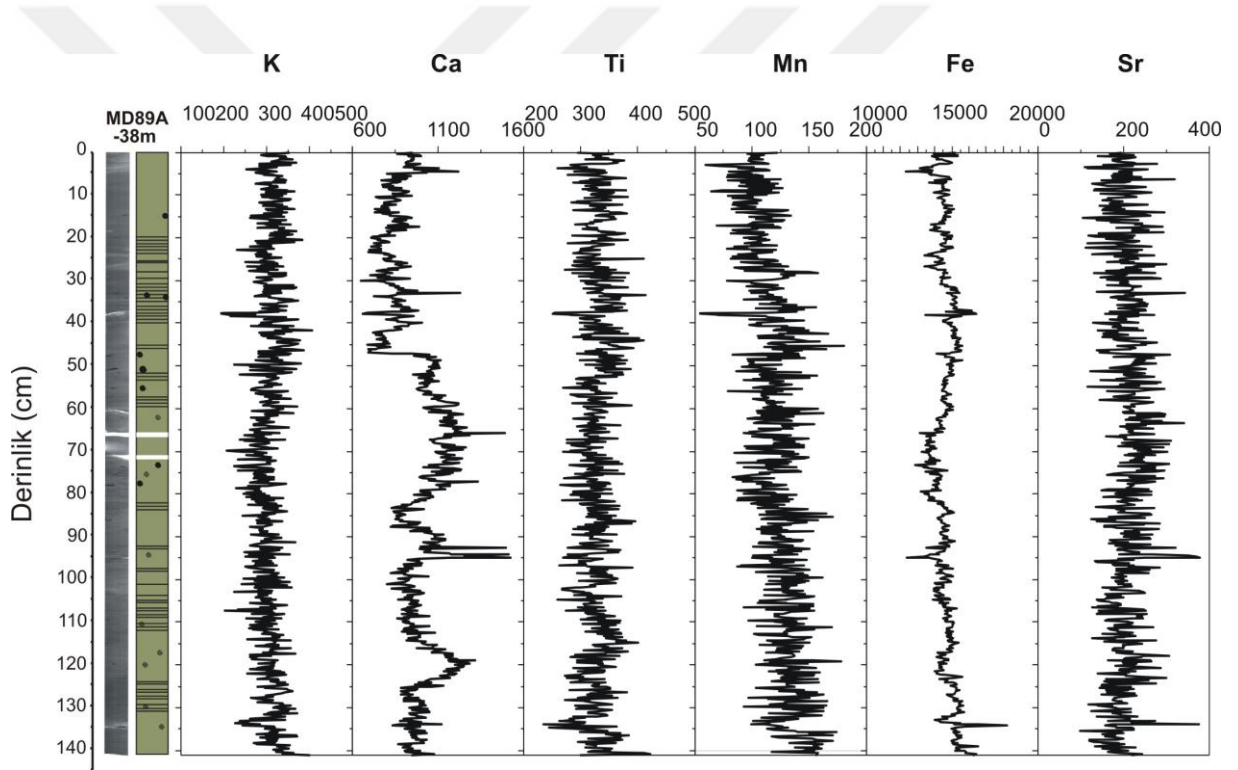
### MD89A Karotu

MD89A karotunda K değeri 198 ile 408 cps arası salınım göstermektedir (Şekil 36). K değeri karot boyunca minimum değerini 37,8 cm de almaktadır. Potasyum karotta 21 cm'ye

kadar karot boyunca nispeten yüksek gözlenmektedir. Kırıntı girdisi belirteci olan Fe elementi Ca ile ters salınım göstermektedir. Fe elementi 12325 ile 18222 cps arası değerler almaktadır. Ca elementinin yüksek gözlendiği 47 cm ile 80 cm arası Fe elementinde düşüş gözlenmektedir. Ca elementi karotta 47 cm'ye kadar düşük gözlenirken (ort 845 cps) bu derinlikten 80 cm'ye kadar artmakta ve ortalama 1113 cps değerini almaktadır. Bu seviyeden karot tabanına doğru Ca elementi ortalama 999 cps değerini almaktadır.

Ti elementi karot boyunca pek bir değişiklik göstermemekte ve K ile benzer salınım sergilemektedir. Titanyum 200 ile 400 cps arası değerler almaktadır.

Mangan 10 ile 175 cps arası değerler almaktadır. Mn karot tabanına doğru göreceli olarak artmaktadır.



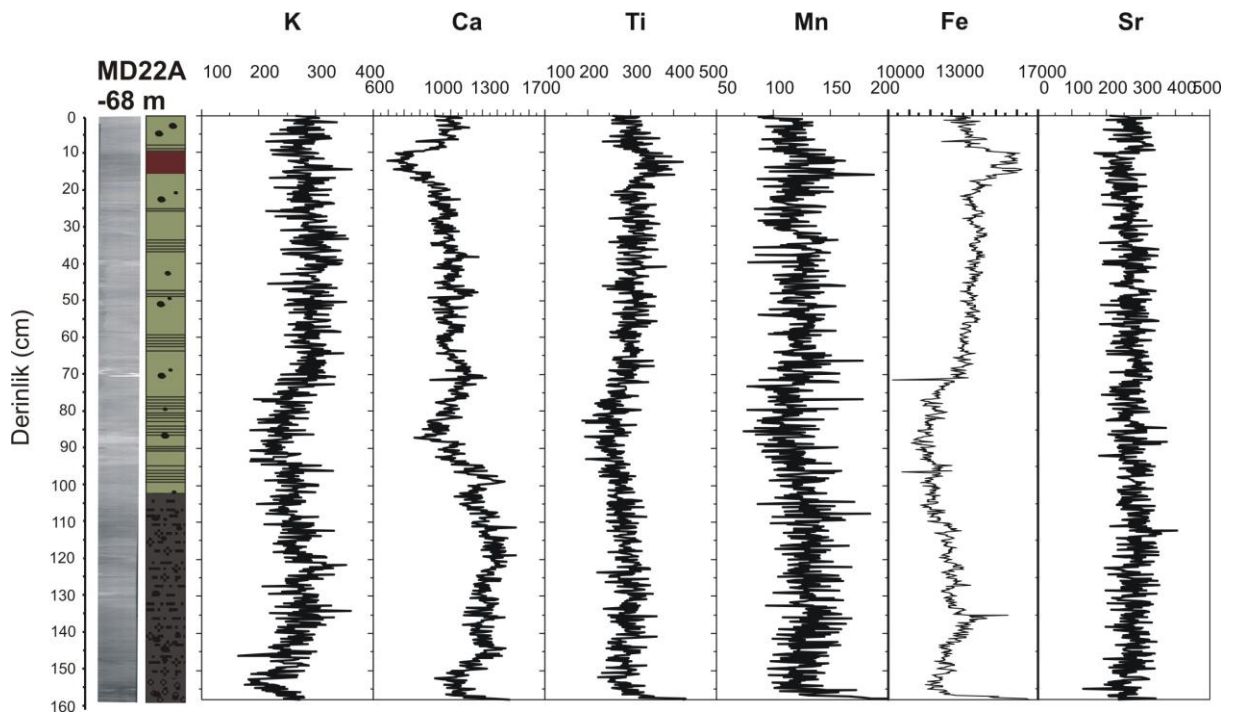
Şekil 36. MD89A karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps).

#### MD22A Karotu

Detritik girdi ile ilişkili K, Ti ve Fe elementleri MD22A karotu boyunca benzer trend sergilemektedir (Şekil 37). Potasyum, Ti ve Fe sırası ile 150-350 cps, 200-400 cps ve 1000-1600 cps arası değerler almaktadır. Karotun 10-20 cm arası laminalı seviyede Ti ve Fe

elementlerinde artış gözlenmektedir. Buna karşın Ca değerleri bu seviyede azalmaktadır. Kalsiyum karot boyunca 700 ile 1600 cps arası değerler almaktadır. Kalsiyum profilinde gözlenen bir diğer azalma 80 ile 90 cm arasındır. Bu seviyede kalsiyum 800 cps'ye düşmektedir. Karotta siltli kum birimi içinde Ca değeri artmakta ve 1500 cps'ye ulaşmaktadır. Karot tabanında Ca değeri tekrardan azalmaktadır. Stronsiyum karot boyunca 200-400 cps arası değerler almakta ve tekdüze bir salınım göstermektedir.

Mangan karot boyunca nispeten sabit bir trend sergilemekte ve 75-175 cps arası değerler almaktadır.



Şekil 37. MD22A karotu XRF sonuçları, element konsantrasyonları saniye sayımdır (cps).

### 3.5.3. Metal analizi ve element jeokimyası

Tez kapsamında metal analizleri Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümü ICP-MS ve İstanbul Üniversitesi Biyoloji Bölümü Botanik Ana Bilim Dalı ICP-OES cihazlarında yapılmıştır. MD22A ve MD89A karotları ICP-OES'de MD88, İZ17 ve İZ30 karotları da ICP-MS'de ölçülmüştür. Toplamda 10 adet (Al, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb) element içeriği karot derinliği boyunca saptanmıştır. Ölçümler sonuçları aşağıda  $\text{mg.kg}^{-1}$  cinsinden ayrıntılı olarak verilmiştir.

## **İzmit Körfezi**

### **İZ30 Karotu**

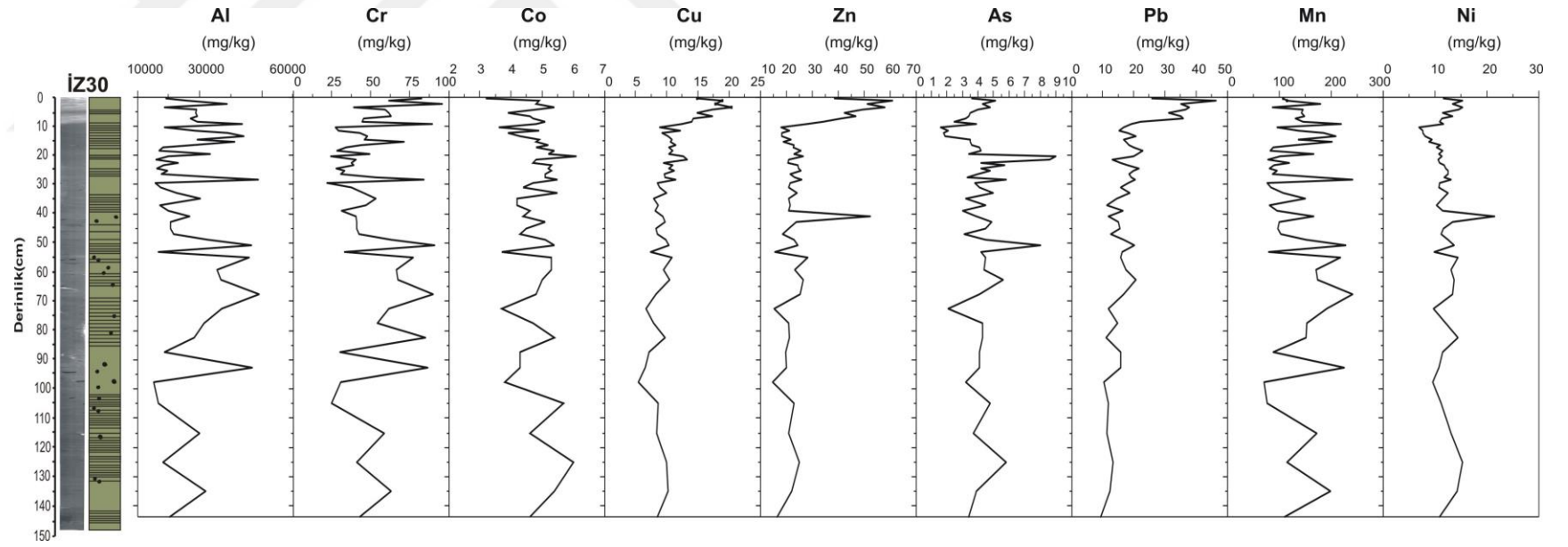
İZ30 karot çökeli boyunca Al, Cr, Co, Cu, Zn, As, Pb, Mn ve Ni için hesaplanan background değerler sırasıyla 22119, 43.4, 5, 8.5, 20.5, 4.1, 11.5, 124.6 ve 12.5 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karot üst seviyesinde Cu, Pb ve Zn background değerlere göre yüksek gözlenirse de Cu ve Zn değerleri Krauskopf (1979) şeyl Cu (57 mg.kg<sup>-1</sup>) ve Zn (80 mg.kg<sup>-1</sup>) ortalamasına göre çok düşük kalmaktadır (Tablo 7).

Alüminyum elementi 15242 ile 49086 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Alüminyum 19284 ppm ile başlamakta ve karot boyunca dalgalı (artan-azalan) bir trend sergilemektedir (Şekil 38). Karot boyunca maksimum Al değeri 67,5 cm'de ölçülmüştür. Karotta 100 cm'den sonra Al nispeten azalan bir trendle devam etmektedir.

Demir elementinin dağılımı Al ile benzerdir. Karot boyunca 6232 ile 81863 mg.kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Ortalama değeri 11960 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta 100 cm'den sonra Fe sönümlenerek devam etmektedir.

Kobaltın (Co) karot boyunca dağılımı 3.2 ile 6.1 mg.kg<sup>-1</sup> arasındadır. Ortalama değeri 3.9 mg.kg<sup>-1</sup>. Karot da 100 cm'den sonra Co ortalama değer üzerinde seyretmektedir (5.3 mg.kg<sup>-1</sup>).

Kalkofil grubunda bulunan bakır (Cu), çinko (Zn) ve kurşunun (Pb) dağılımları karot boyunca nispeten benzerdir. Kükürtle kolayca birleşme eğilimi gösteren bu ağır metaller karotta 0-9,5 cm arası yüksek gözlenmektedir. Bakır karot boyunca 5.5 ile 20.4 mg.kg<sup>-1</sup>, Zn 14.9 ile 61.1 mg.kg<sup>-1</sup> ve Pb 9.4 ile 46.5 mg.kg<sup>-1</sup> arası salınım göstermektedir. Ortalama Cu, Zn ve Pb değerleri sırasıyla 11.7; 27.6 ve 17.7 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta 9,5 cm'den sonra nispeten tekdüze salınım gösteren Zn, 41 cm'de aniden bir artış göstermektedir (52.6 mg.kg<sup>-1</sup>). Element dağılımlarına göre karotta background değer olarak belirlenen 92,5 cm ve sonrasında Zn değerlerinde bir azalma gözlenmemektedir. Karotta 92,5 cm'den sonra Zn değerleri dar bir aralıkta salınım göstermektedir. Aynı şekilde Cu değerlerinde de bir azalma gözlenmemiş aksine göreceli olarak bir artış gözlemlenmiştir. Karotta 57 cm ile 62,5 cm'ler arasında gözlenen hafif bir Pb artışı dışında söz konusu element karot tabanına doğru nispeten azalan bir trend sergilemektedir.



Şekil 38. İZ30 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri

Arsenik (As) 1.6 ile 9 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 3.5 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta 20.5 cm ve 51 cm'de As ortalama değerini yaklaşık 2.5 katına yükseltmektedir. Krom (Cr) 21.7 ile 95.8 mg.kg<sup>-1</sup> arası salınım göstermektedir. Ortalama değeri 62.6 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta 47 cm'ye kadar nispeten azalan bir trend sergilemektedir. 55 ile 87.5 cm'ler arası Cr değerleri ortalama değerini üzerindedir.

#### İZ17 Karotu

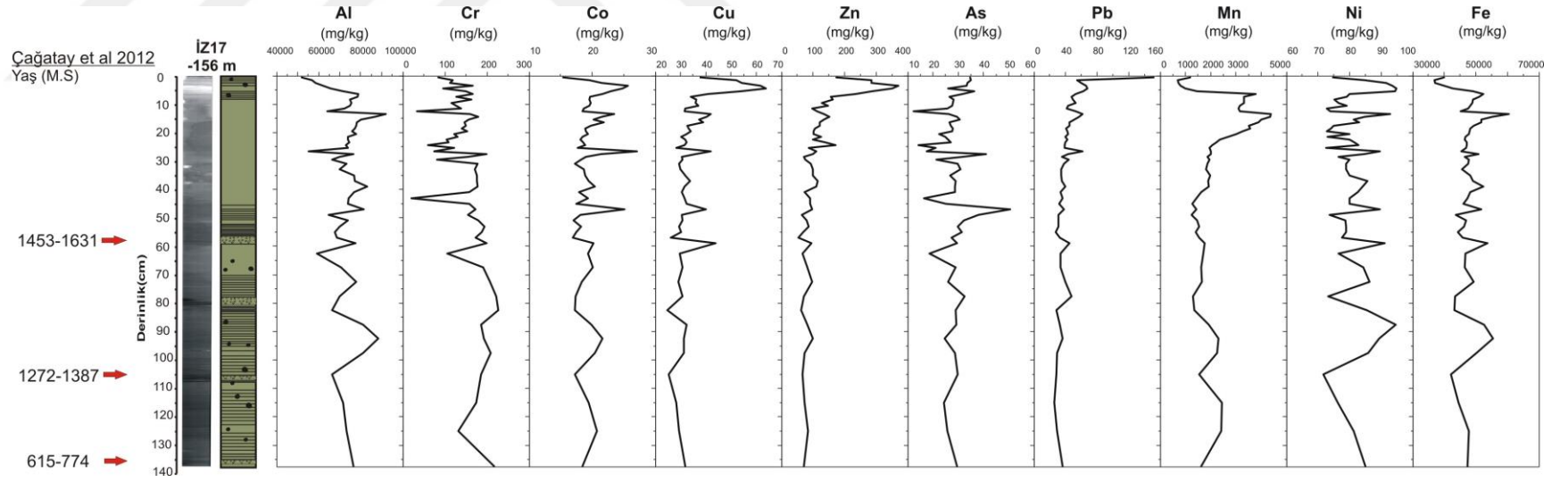
İZ17 karot çökeli boyunca Al, Cr, Co, Cu, Zn, As, Pb, Mn, Ni ve Fe için hesaplanan background değerler sırasıyla 71947.5, 177.2, 19, 28.7, 74, 27.3, 30, 2009, 78.6 ve 45495 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Krauskopf (1979) şeyl değerlerine göre Cr, Zn, As ve Pb ortalama değerleri yüksek gözlenirken karot background değerlerine göre ise Cu, Zn, As ve Pb yüksek gözlenmektedir (Tablo 7).

Al, 52055 ile 92091 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 39). Ortalama değeri 73010 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Al karotta 52055 mg.kg<sup>-1</sup> ile başlamakta ve 13.5 cm de bu değer 92091 mg.kg<sup>-1</sup> ile karotta en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu seviye ile 82,5 cm arası yaklaşık 50000 ile 85000 mg.kg<sup>-1</sup> arası değişmektedir. Karotta 92,5 cm'de Al artarak 88417 mg.kg<sup>-1</sup>'a ulaşmaktadır.

Kalkofil grubu elementlerinden As, 12 ile 50 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 28 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. As elementi 50 cm'ye kadar inişli çıkışlı bir trend sergilemekte ve maksimum değeri 47 cm'de almaktadır (50 mg.kg<sup>-1</sup>). Bu derinlikten itibaren karot sonuna kadar tekdüze bir salınım göstermektedir.

Bakır ve Zn karot boyunca benzer salınım göstermektedir. Cu ve Zn için ortalama değerler sırasıyla 35 ve 122.7 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Cu elementi, 38 mg.kg<sup>-1</sup> ile başlamakta ve değer artarak 5 cm'de 68 mg.kg<sup>-1</sup>'a ulaşmaktadır. Aynı şekilde Zn elementide benzer bir trend göstererek 170 mg.kg<sup>-1</sup> ile başlamakta ve 5 cm'de 370 mg.kg<sup>-1</sup>'a yükselmektedir. Bu derinlikten itibaren Zn ve Cu elementleri hemen hemen tekdüze bir trend göstermektedir.

Cd elementi 18 ile 27 cm'ler arası hariç yaklaşık 0 ile 10 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Karotta 18 ile 27 cm'ler arası değerler aniden yükselerek 21 cm'de 22 mg.kg<sup>-1</sup>'a ulaşmaktadır.



Şekil 39. İZ17 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri

Pb elementi 151 mg.kg<sup>-1</sup> ile başlamakta ve derinlik boyunca değerler azalarak devam etmektedir. Karot başında gözlenen yüksek değer (151 mg.kg<sup>-1</sup>) dışında Pb elementi karot boyunca 29 ile 67 mg.kg<sup>-1</sup> arasında değerler almaktadır.

Mn elementi, 5 ile 25 cm'ler arasında gözlenen artış dışında karot boyunca tekdüze bir salınım göstermektedir. Bu seviyeler de yaklaşık 3000 ile 5000 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır.

### **Gemlik Körfezi**

#### **MD88 karotu**

MD88 karot çökelinde karot boyunca ölçümü yapılan metaller şekil 39'da verilmiştir. Karot boyunca Al, Cr, Mn, Co, Cu, Zn, As ve Pb için hesaplanan background değerler sırasıyla 23958, 96,3, 321,6, 5,3, 5,9, 35,3, 8,7 ve 19,3 mg.kg<sup>-1</sup>'dir.

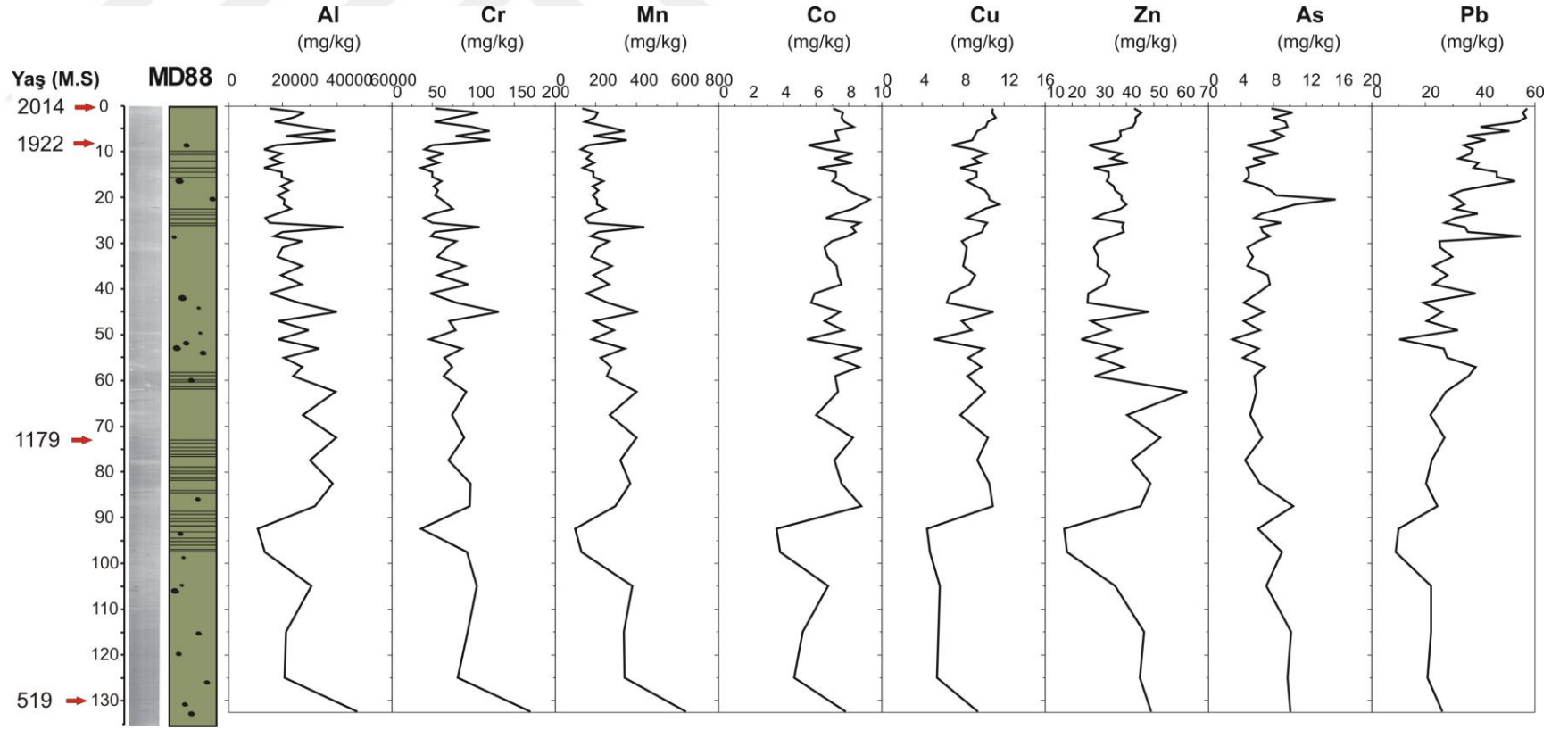
Alüminyum 10778 ile 47391 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 40). Ortalama Al değeri 23902 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karot yüzeyinde alüminyum 15152 mg.kg<sup>-1</sup> ile başlamakta ve 7,5 cm'de 39471 mg.kg<sup>-1</sup>'a ulaşmaktadır.

Krom 35,7 ile 170,3 mg.kg<sup>-1</sup> arasında değişmekte olup, ortalama Cr değeri 72,8 mg.kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Cr elementi karot çökelinin üst kısmında birkaç seviye dışında genel olarak background değerinden (96,3 mg.kg<sup>-1</sup>) daha düşük değerler almaktadır.

Bakır 4,4 ile 11,5 mg.kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Ortalama Cu değeri 8,9 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Cu elementinde karot boyunca herhangi bir zenginleşme gözlenmemiştir.

Kurşun 8,8 ile 57,3 mg.kg<sup>-1</sup> arası salınım göstermektedir. Ortalama Pb değeri 32,7 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Pb karot tabanına doğru azalan trend sergilemektedir. Background değere ( 19,3 mg.kg<sup>-1</sup>) göre karotta 0-30 cm'ler arası Pb konsantrasyonunda bir artış gözlenmektedir.

Arsenik 2,9 ile 15,6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama As değeri 7,1 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta 20,5 cm'de As değeri artmakta ve karot boyunca maksimum değerine ulaşmaktadır (15,6 mg.kg<sup>-1</sup>). Background değerine (7,1 mg.kg<sup>-1</sup>) göre karotun üst seviyelerinde (0-30 cm) As değerinde bir artış gözlenmektedir.



Şekil 40. MD88 karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri

Çinko 17,3 ile 62,4 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Zn değeri 36,1 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Zn 92,5 cm'ye kadar nispeten sabit bir trend göstermekte ve bu seviyeden itibaren azalan bir grafik sergilemektedir.

Kobalt 3,5 ile 9,3 mg.kg<sup>-1</sup> arası salınım göstermektedir. Ortalama Co değeri 7,2 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Co, 92,5 cm'ye kadar nispeten sabit trend sergilerken bu seviyeden itibaren değer azalarak devam etmektedir. Karotun üst seviyeleri background değere (5,3 mg.kg<sup>-1</sup>) göre artış gösterirken bu değerler Krauskopf (1979) şeyl değerine (20 mg.kg<sup>-1</sup>) göre oldukça düşüktür.

Mangan 99,2 ile 437,4 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Mn değeri 236,9 mg.kg<sup>-1</sup>'dir.

#### MD89A Karotu

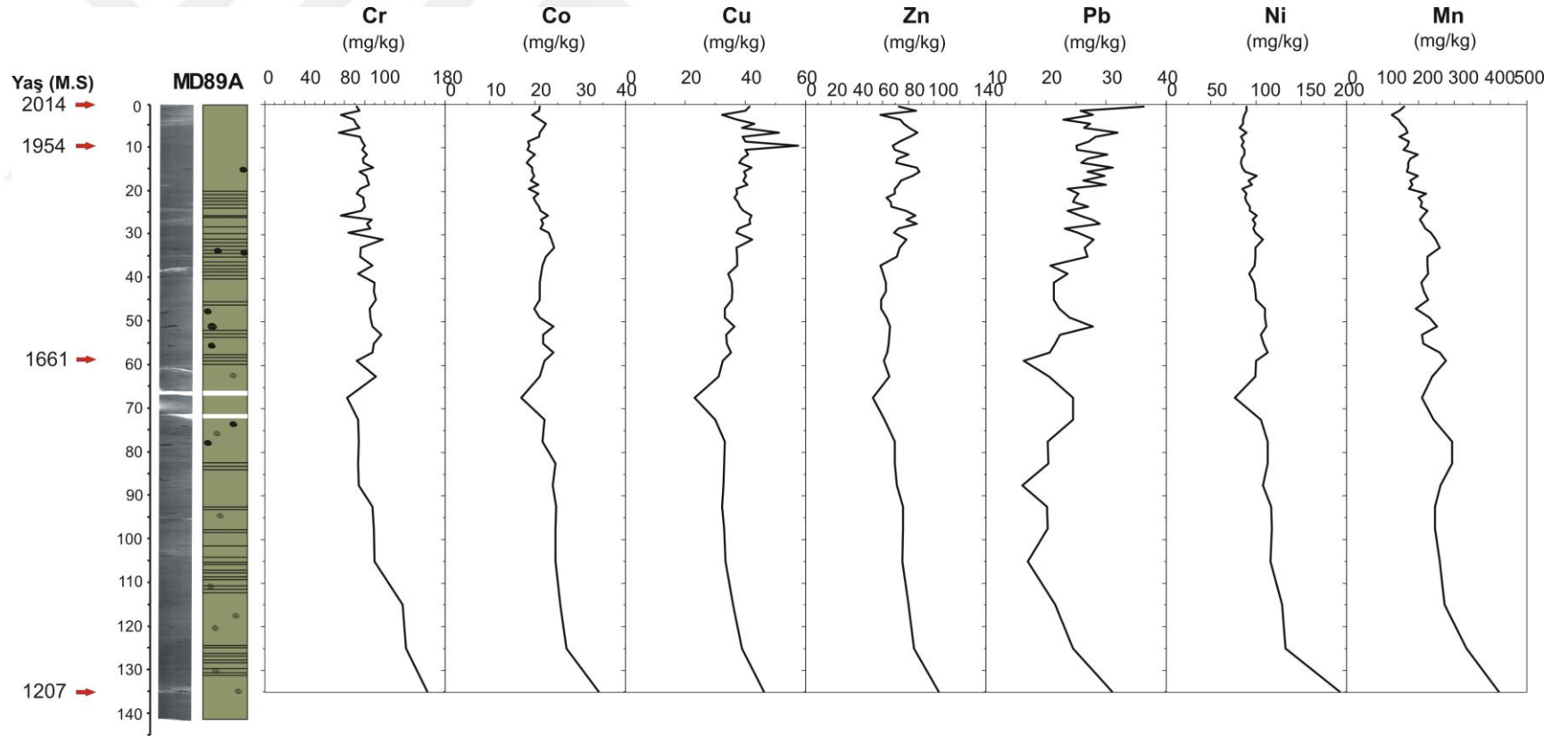
MD89A karot çökelinde Cr, Co, Pb, Cu, Zn ve Mn değerleri genel olarak karot boyunca düşük gözlenmektedir (Şekil 41). Karot boyunca ölçümü yapılan elementlerin hesaplanan background değerleri sırasıyla Cr:103,3, Co: 22,3, Pb: 21,2, Cu: 32,8, Zn: 65,6 ve Mn: 243 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Bakır, Zn ve Pb hariç diğer elementlerin ortalama değerleri background değerlerinin altında değerler almaktadır.

Krom 74,5 ile 117,9 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 41). Ortalama değeri 99,1 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karot boyunca background değerinin altında dağılım göstermektedir.

Kobalt 16,9 ile 24,7 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 21,2 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karot boyunca tek düze dağılım göstermekte ve konsantrasyonda bir artış gözlenmemektedir.

Kurşun 16,1 ile 36,3 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 24,8 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Genel olarak karotun 0-35 cm arası seviyelerde background değerinin üzerinde değerler almaktadır. Fakat konsantrasyonda ki bu artış çok yüksek olmamakla beraber yaklaşık 1.5 kattır.

Bakır 23,1 ile 57,6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 37,4 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. 0-10 cm de maksimum değerine ulaşmaktadır. Fakat bu değer Krauskopf (1979) şeyl değeri (57 mg.kg<sup>-1</sup>) referans alındığında minimum düzeyde kalmakta ve karot boyunca herhangi bir zenginleşme gözlenmemektedir.



Şekil 41. MD89A karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri

Çinko 52,2 ile 88,4 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 71,2 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. 0-35 cm arası bir kaç seviye dışında karot boyunca genel olarak background değerinin altında değerler almaktadır.

Mangan 125,5 ile 294,6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama değeri 208,3 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Mn karot boyunca background değerinin altında değerler almaktadır.

#### MD22A Karotu

MD22A karot çekirdeğinde Al, Ni, Cr, Cu, Zn, Pb ve Co elementleri background değerleri sırasıyla 27373,8, 81, 92,5, 31,7, 48,3, 19,4 ve 16,7 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Background değerlerine göre Ni, Cr, Cu, Zn, Pb ve Co elementleri 0-43 cm arası yüksek değerler almaktadır. Karotta 43 cm'den itibaren background değerlere ulaşılmaktadır.

Alüminyum 3510 ile 45840,6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 42). Ortalama Al değeri 20519 mg.kg<sup>-1</sup>'dir.

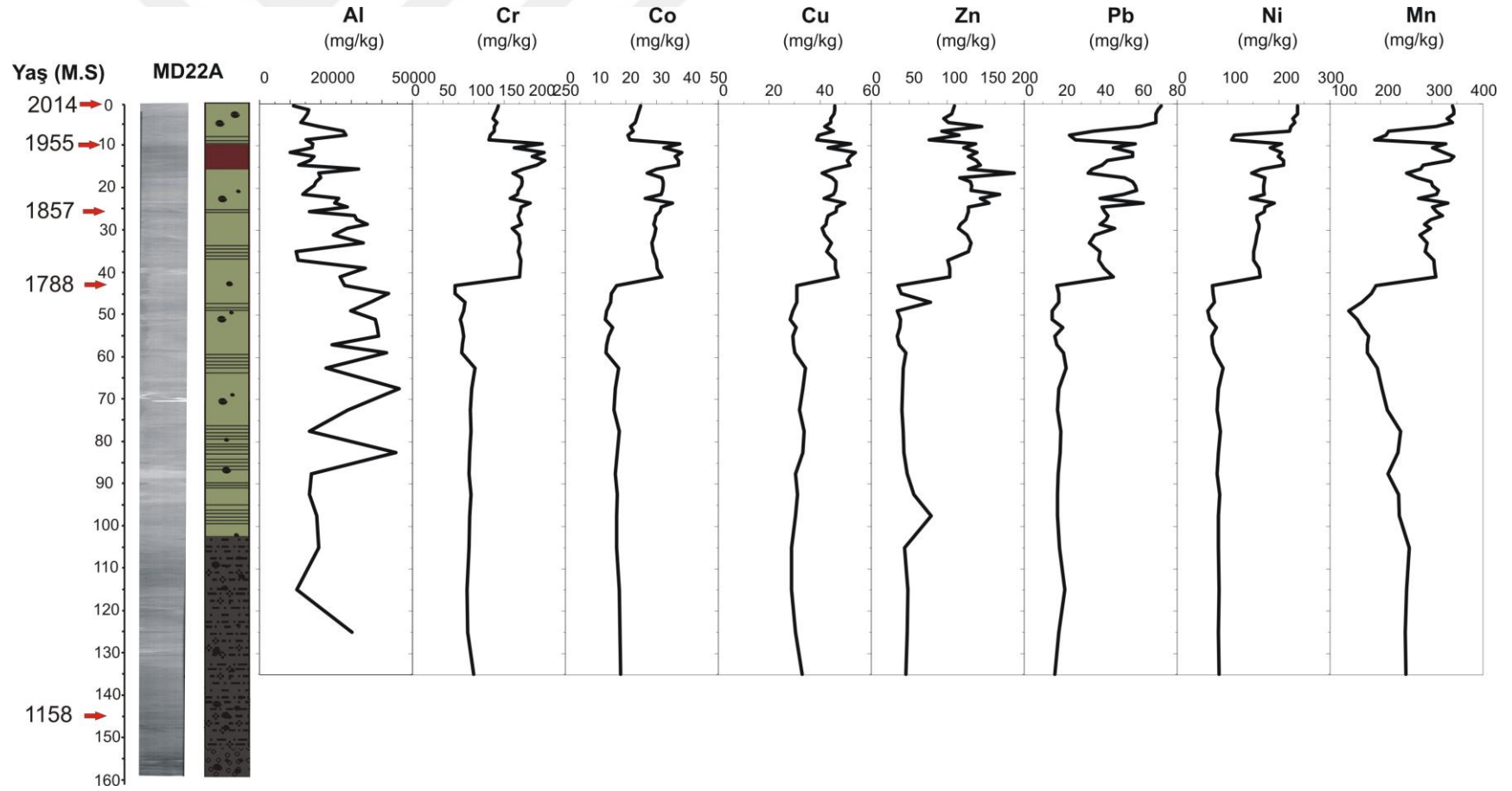
Krom 69,7 ile 216,6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Cr değeri 139,7 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotta Cr elementinin yüksek gözlemlendiği seviyede (0-43 cm) background değere göre konsantrasyonda yaklaşık 2 katı bir artış gözlenmektedir.

Bakır 28,3 ile 53,9 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Cu değeri 40 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotun üst seviyesinde (0-43 cm) Cu miktarı yaklaşık 0.5 kat arttığı gözlenmektedir.

Çinko 34,6 ile 187,2 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Zn değeri 95,2 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotun üst seviyesinde (0-43 cm) Zn konsantrasyonunda yaklaşık 3.5 kat artış gözlenmektedir.

Kurşun 14,7 ile 71,8 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Pb değeri 37,3 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotun üst seviyesinde (0-43 cm) Pb konsantrasyonunda yaklaşık 3.5 kat artış gözlenmektedir.

Kobalt 13,2 ile 38,1 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Ortalama Co değeri 24,4 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karotun üst seviyesinde (0-43 cm) Co konsantrasyonunda 2 kat artış gözlenmektedir.

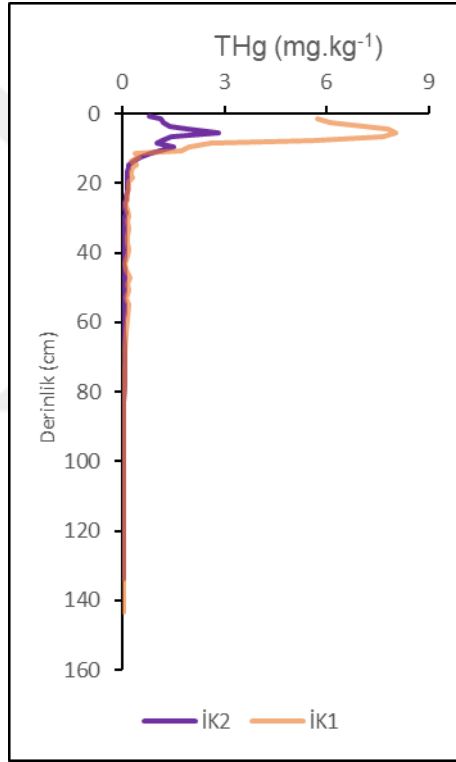


Şekil 42. MD22A karotunun ICP-MS yöntemi ile elde edilen element profilleri

### 3.5.4. Toplam cıva analizi

#### İzmit Körfezi

İZ17 ve İZ30 karot çökellerinde sırasıyla 57 ve 55 adet örneğin toplam cıva içeriği tespit edilmiştir. İZ30 karotunun cıva içeriği İZ17 karotuna göre daha yüksektir (Şekil 43). İZ30 karot çökelinin cıva içeriği 0,04 ile 8,03 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler alırken İZ17 karotu çökelleri 0,03 ile 2,82 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 43). İZ30 karotunun 0-2 cm arası cıva içeriği 5,74 mg.kg<sup>-1</sup> iken İZ17 karotunun 0,8 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. İZ30 karotunda derinlik boyunca maksimum değere 5-6 cm arası ulaşılmıştır (8,03 mg.kg<sup>-1</sup>). Bu derinlikten sonra cıva içeriği azalmakta ve 62,5 cm'den sonra 0,1 mg.kg<sup>-1</sup>'dan daha az değerler gözlenmektedir.



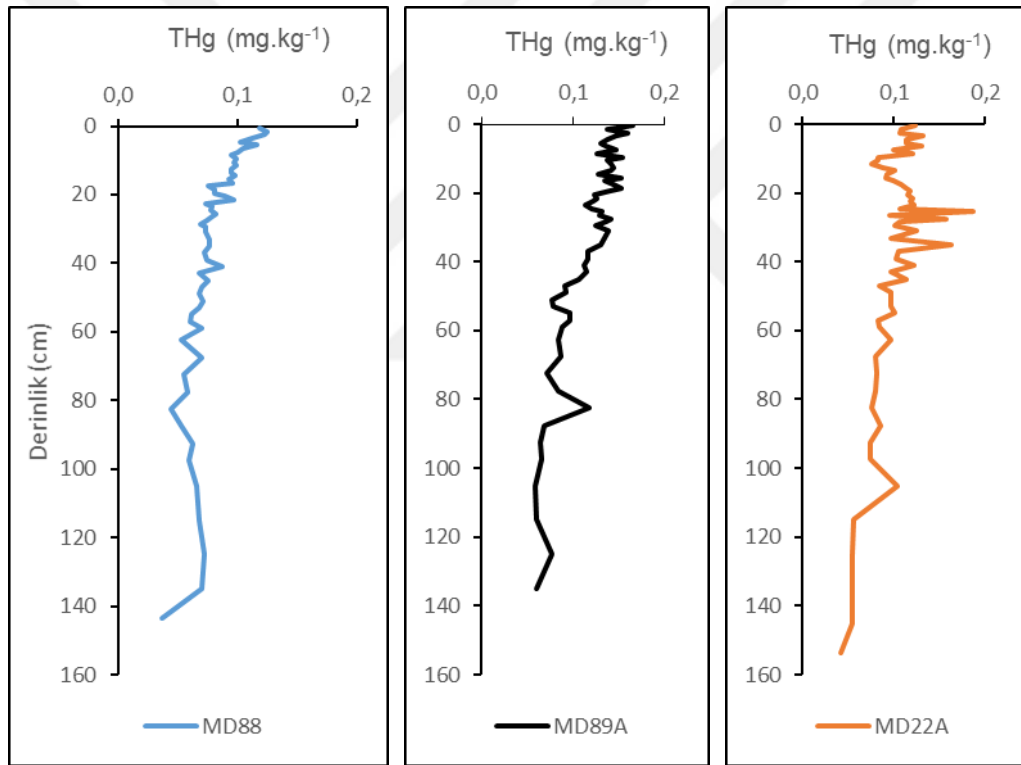
Şekil 43. İZ17 ve İZ30 karot çökellerinin toplam cıva içerikleri

Krauskopf 1979'a göre şeyl cıva değerini (0,4 mg.kg<sup>-1</sup>) referans olarak kabul edersek her iki karotta 13,5 cm'den sonra background değerlere ulaşılmaktadır. Ayrıca karotlarda değerlerin nispeten sönümlendiği seviyeyi referans kabul edersek 13,5 cm'den sonra Thg içeriği aniden azalmaktadır. Bu derinlikte İZ17 ve İZ30 karotlarında toplam cıva için

background seviyeye ulaşılmaktadır. İZ17 ve İZ30 karot çökellerinin background değerleri 0,08 ve 0,14 mg.kg<sup>-1</sup>'dir.

### **Gemlik Körfezi**

MD88, MD89A ve MD22A karotlarında sırasıyla 58, 56 ve 59 adet örnekte toplam cıva analizleri yapıldı. THg içerikleri MD88 karot çökelinde 0,04 ile 0,13 mg.kg<sup>-1</sup>, MD89A karotunda 0,06 ile 0,17 mg.kg<sup>-1</sup> ve MD22A karotunda 0,04 ile 0,19 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır (Şekil 44). MD88, MD89A ve MD22A karotlarının background değerleri sırasıyla 0,06, 0,08 ve 0,07 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Karot boyunca hesaplanan background değerlerine göre karotların üst seviyesinde nispeten THg değerinde artış gözlenmektedir. Fakat bu değerler Krauskopf (1979) şeyl değerine (0,4 mg.kg<sup>-1</sup>) kıyasla oldukça düşük aralıkta kalmaktadır.



Şekil 44. MD22, MD89A ve MD22A karotları toplam cıva içerikleri

### **3.6. Karotların Mineralojisi**

Kayaçları hassas ve kesin bir şekilde sınıflandırılması oldukça zordur. Kayaçlar, çeşitli özelliklere dayanarak sınıflandırılır. Bu çalışmada mineralojik sınıflama kullanılmıştır. Buna göre karotların kumlu seviyelerinden oluşturulan ince kesitler ile mineral türleri ve oranları

ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. İnce kesitlerde gözlenen minerallerin çoğu genel olarak denizel ortamda zaman içerisinde alterasyona uğramış ve tanımlaması oldukça zor hale gelmiştir. Bu sebeple altere olan mineraller tanımlanının dışında bırakılmıştır. Tanımlama yaparken kantitatif mineralojik sınıflama yapılmıştır. Bu çalışmada kesitlerde biyotit, piroksen, amfibol, kuvars, plajiyoklas, fosil, kireçtaşı, opak mineraller ve kayaç parçaları gözlenmiştir. Kesitlere ait optik görüntüler 500 µm ve 200 µm ölçekte çekilmiştir (Şekil 45, 46). Mineraller mafik, felsik, karbonat, opak ve kayaç parçası olarak gruplandırılmıştır. İZ17 karotu ortalama %9 mafik, %55 Felsik (%44 kuvars, %11 plajiyoklas), %30 karbonat (%21 foraminifer, %9 kireçtaşı), %5 Opak, %1 kayaç parçasından oluşurken, MD22A karotu ortalama %20 mafik, %19 Felsik (%15 kuvars, %4 plajiyoklas), %48 karbonat (%10 foraminifer, %38 kireçtaşı), %9 Opak, %4 volkanik kayaç parçasından oluşmaktadır (Tablo 7). Genel olarak İZ17 karot çökelleri felsik ağırlıklı bileşenlerden oluşurken, MD22A karbonatlı birimlerden oluşmaktadır. İzmit Körfezi ve civarının jeolojisi detaylı incelendiğinde İZ17 karotunda yüksek gözlenen kuvars (%44) kumtaşı, şist, çakıltası ve özellikle felsik magmatik kayaçlardan kaynaklanmaktadır.

Tablo 7. İZ17 ve MD22A karot çökellerinin mineralojisi

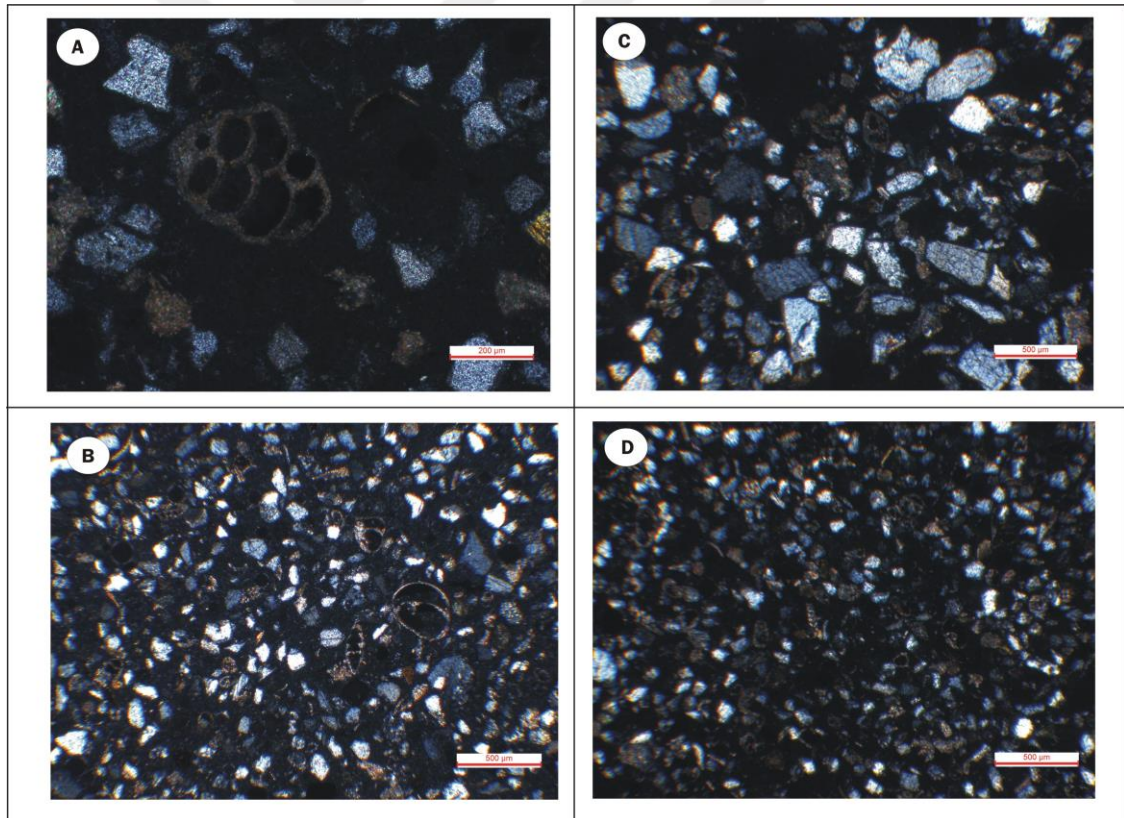
| Örnek         | Bileşen özellikleri | Mineralojik yapısı                 |                             |                                          |      |                             |
|---------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|------|-----------------------------|
|               |                     | Mafik (Biyotit, piroksen, amfibol) | Felsik (Kuars, plajiyoklas) | Karbonat (fosil(foraminifer), kireçtaşı) | Opak | Kayaç parçası               |
| İZ17 0-10 cm  | İnce taneli         | %10                                | %60 Kuvars, %5 plajiyoklas, | %5 Foraminifer, %5 kireçtaşı             | <%5  | %5 metamorfik kayaç parçası |
| İZ17 10-20 cm | İnce taneli         | <%5                                | %15 kuvars, %10 plajiyoklas | %50 foraminifer, %5 kireçtaşı            | %5   | %10 volkanik kayaç parçası  |
| İZ17 20-30 cm | İnce taneli         | <%5                                | %15 kuvars, %10 plajiyoklas | %55 foraminifer, %10 kireçtaşı           | %5   |                             |
| İZ17 30-40 cm | İnce taneli         | %5                                 | %15 kuvars, %10 plajiyoklas | %55 foraminifer, %10 kireçtaşı           | <%5  |                             |
| İZ17 40-50 cm | İnce taneli         | %10                                | %45 kuvars, %15 plajiyoklas | %15 foraminifer, %10 kireçtaşı           | <%5  |                             |
| İZ17 50-60 cm | İnce taneli         | %5                                 | %55 kuvars, %5 plajiyoklas  | %20 foraminifer, %5 kireçtaşı            | %10  |                             |
| İZ17 60-70 cm | İnce taneli         | %5                                 | %60 kuvars, %10 plajiyoklas | %15 foraminifer, %5 kireçtaşı            | %5   |                             |

Tablo 7. Devamı:

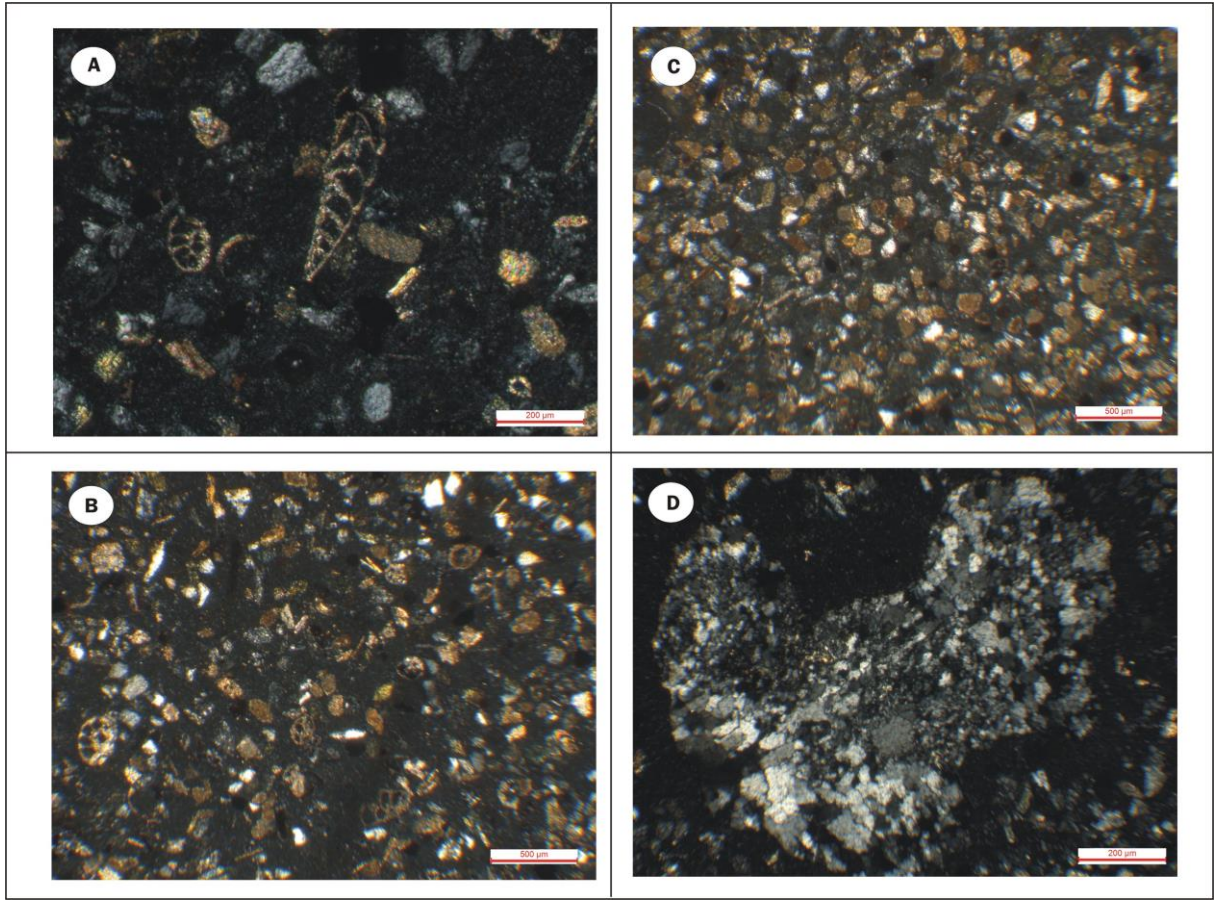
|                        |                            |     |                                |                                   |     |                               |
|------------------------|----------------------------|-----|--------------------------------|-----------------------------------|-----|-------------------------------|
| İZ17<br>70-80 cm       | İnce<br>taneli             | %10 | %55 kuvars,<br>%10 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%10 kireçtaşı | %5  |                               |
| İZ17<br>80-90 cm       | İnce-Çok<br>ince<br>taneli | %10 | %45 kuvars,<br>%15 plajiyoklas | %15 foraminifer,<br>%10 kireçtaşı | %5  |                               |
| İZ17<br>90-100<br>cm   | İnce-çok<br>ince<br>taneli | %10 | %50 kuvars,<br>%10 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%15 kireçtaşı | <%5 |                               |
| İZ17<br>100-110<br>cm  | İnce-çok<br>ince<br>taneli | %10 | %45 kuvars,<br>%15 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%15 kireçtaşı | %5  |                               |
| İZ17<br>110-120<br>cm  | Çok ince<br>taneli         | %10 | %55 kuvars,<br>%10 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%10 kireçtaşı | <%5 |                               |
| İZ17<br>120-130<br>cm  | Çok ince<br>taneli         | %10 | %50 kuvars,<br>%10 plajiyoklas | %15 foraminifer,<br>%10 kireçtaşı | <%5 |                               |
| İZ17<br>130-140<br>cm  | Çok ince<br>taneli         | %10 | %50 kuvars,<br>%15 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%10 kireçtaşı | <%5 |                               |
| MD22A<br>0-10 cm       | İnce<br>taneli             | %10 | %15 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%45 kireçtaşı | %5  | %10 volkanik<br>kayaç parçası |
| MD22A<br>10-20 cm      | İnce<br>taneli             | %15 | %15 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %10 foraminifer,<br>%45 kireçtaşı | %10 |                               |
| MD22A<br>20-30 cm      | İnce<br>taneli             | %20 | %15 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %20 foraminifer,<br>%35 kireçtaşı | %5  |                               |
| MD22A<br>30-40 cm      | İnce<br>taneli             | %15 | %20 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %15 foraminifer,<br>%40 kireçtaşı | %5  |                               |
| MD22A<br>40-50 cm      | İnce<br>taneli             | %15 | %20 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %20 foraminifer,<br>%35 kireçtaşı | %5  |                               |
| MD22A<br>50-60 cm      | İnce<br>taneli             | %20 | %15 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %15 foraminifer,<br>%35 kireçtaşı | %10 |                               |
| MD22A<br>70-80 cm      | İnce<br>taneli             | %15 | %15 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %10 foraminifer,<br>%45 kireçtaşı | %10 |                               |
| MD22A<br>80-90 cm      | İnce-orta<br>taneli        | %15 | %15 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %5 foraminifer,<br>%50 kireçtaşı  | %10 |                               |
| MD22A<br>90-100<br>cm  | İnce-orta<br>taneli        | %20 | %20 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %10 foraminifer,<br>%40 kireçtaşı | %5  |                               |
| MD22A<br>100-110<br>cm | Orta<br>taneli             | %25 | %10 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %5 foraminifer,<br>%40 kireçtaşı  | %10 | %5 volkanik<br>kayaç parçası  |
| MD22A<br>110-120<br>cm | Orta<br>bileşen            | %20 | %15 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %5 foraminifer,<br>%40 kireçtaşı  | %15 |                               |

Tablo 7. Devamı:

|                        |                     |     |                                |                                   |     |                               |
|------------------------|---------------------|-----|--------------------------------|-----------------------------------|-----|-------------------------------|
| MD22A<br>120-130<br>cm | Orta-kaba<br>taneli | %25 | %10 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %10 foraminifer,<br>%35 kireçtaşı | %15 |                               |
| MD22A<br>130-140<br>cm | Orta-kaba<br>taneli | %25 | %10 kuvars, %5<br>plajiyoklas  | %5 foraminifer,<br>%35 kireçtaşı  | %10 | %10 Volkanik<br>kayaç parçası |
| MD22A<br>140-150<br>cm | Orta-kaba<br>taneli | %25 | %15 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %5 foraminifer,<br>%30 kireçtaşı  | %10 | %10 Volkanik<br>kayaç parçası |
| MD22A<br>150-157<br>cm | Orta-kaba<br>taneli | %30 | %10 kuvars,<br><%5 plajiyoklas | %5 foraminifer,<br>%20 kireçtaşı  | %10 | %20 volkanik<br>kayaç parçası |
| İZ17<br>Ortalama       |                     | %9  | %44 kuvars<br>%11 plajiyoklas  | %21 foraminifer<br>%9 kireçtaşı   | %5  | %1 kayaç<br>parçası           |
| MD22A<br>Ortalama      |                     | %20 | %15 kuvars<br>%4 plajiyoklas   | %10 foraminifer<br>%38 kireçtaşı  | %9  | %4 volkanik<br>kayaç parçası  |



Şekil 45. İZ17 karotu çift nikolde; (A) 50-60 cm'deki kırıntılı bileşenler içerisindeki fosilin, (B) 60-70 cm'deki ince taneli kuvars, feldispat, kireçtaşı bileşenlerinin, (C) 100-110 cm'deki orta-iri taneli, köşeli kuvarsın, (D) 120-130 cm'deki çok ince taneli kuvars, feldispat, kireçtaşı bileşenlerinin görüntüsü



Şekil 46. MD22A karotu çift nikolde; (A) 20-30 cm'deki kırıntılı bileşenler ierisindeki fosilin, (B) 40-50 cm'deki kireçtaşı, fosil, kuvars bileşenlerinin, (C) 70-80 cm'deki ince-çok ince taneli kireçtaşı, kuvars bileşenlerinin, (D) 150-157 cm'deki kuvarsitin görüntüsü

İZ17 karot çökel boyutları tabana doğru incelirken MD22A karot çökelleri tabana doğru kabalaşmaktadır. Çökellerin boyutları karotların alındıkları derinlik ile ilişkilidir. İZ17 karotu dalga hareketlerinin az olduğu daha durağan bir lokasyondan alınmış olup materyal boyutu deniz tabanına doğru incelen bir yapı sergilemektedir. MD22A karotu ise dalga hareketleri ve enerjinin yüksek olduğu kıyıya yakın bir konumdan alınmıştır. MD22A karotunun tabanına doğru tane boyutundaki gözlenen artış Kocasu Nehrinin getirdiği malzeme ile ilişkilidir. Detritik malzeme dalga hareketleri ile birlikte zaman içerisinde taşınarak kıyı boyunca çökelmiştir. Nitekim MD22A karotu bu veriyi destelemektedir. İzmit ve Gemlik Körfezi ince kesitlerinde gözlenen kavrı türü foraminiferdir. Genel olarak

sedimentlerin TİK içeriğini litojenik mineraller, kavkı ve kavkı kırıkları belirlemektedir (Sarı ve diğ erleri, 2018). İZ17 karotunda foraminiferlerin yüksek g zlendiğı karotun ilk 20 cm'sinde TİK içeriğı de yüksek gözlenmiştir.



## 4. TARTIŞMA ve YORUMLAR

### 4.1. Karotların Korelasyonu ve Kronolojisi

İzmit Körfezi karotları genel olarak çamur (silt + kil) birimlerinden oluşmasına rağmen kaba taneli (çakıl + kum) sedimentler de içermektedir. -28 m su derinliğinden alınan İZ30 karotunda maksimum %1.1 çakıl ve kum içeriğinin bulunması karotun düşük enerjili ve normal jeolojik koşullar altında çöktüğünü yansıtmaktadır. Bunun aksine -156 m su derinliğinden alınan İZ17 karotunda 78-82 cm ve 104-108 cm'ler arası yüksek oranda kumlu seviyeler belirlenmiştir. İzmit Körfezi Kuzey Anadolu Fay zonunun aktif kolu üzerinde bulunmaktadır. Çalışma alanının tektonik aktivitesinin yüksek olması nedeniyle, körfez tarihi dönemlerde bir çok depremle sarsılmıştır. İzmit Körfezi'nde gerçekleşmiş olan depremlerin denizaltı heyelanlarına neden olduğu, sığ ortamda bulunması gereken kumlu seviyelerin sismotürbiditlerle körfezin derin kısmına taşındığı İZ17 karotundaki kumlu seviyelerle de desteklenmektedir. Nitekim Çağatay ve diğerleri, (2003 ve 2012), Mchugh ve diğerleri, (2006) bölgenin 1999 Gölçük depremi sonrası tektonik aktivitesinin oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. İZ17 ve İZ30 karotlarını eşleştirebilecek herhangi bir klavuz seviye bulunmamaktadır. Fakat İZ17 karotu ile İZ-115 karotunda ki sismotürbiditik seviyeler eşleştirilmiştir (Bakınız bölüm 3.2). Stratigrafik eşleştirme sonucu klavuz seviye (sismotürbidit) esas alınarak İZ17 karotu yaşlandırılmıştır. C-14 tarihlendirme (yaşlandırma) verilerine göre İZ17 karotunun sedimantasyon hızı İZ30 karotuna göre yaklaşık 3 kat daha fazladır. İZ30 karotu sığ ortamdan alınmıştır. Körfezdeki kıyı boyu akıntıları ve dalgalar tane boyu ince çökellerin İZ30 karotunda depolanmasını büyük ölçüde engellemiştir. İZ17 karotunun gerek bulunduğu derinlik gerekse de KAF hattının etkisi sonucu oluşan denizaltı heyelanları İZ17 karotunda sedimantasyonun yüksek olmasına neden olmuş etkenlerden biridir. Depremlerin tetiklemesi ile oluşan denizaltı heyelanları kaotik bir formda ve çoğunluğu kaba taneli malzeme içeren bir yapıya sahiptir. Sedimantasyon hızına etki eden bir diğer faktör ise Dilderesi ve Yalacdere nehirleridir. Bu nehirler özellikle Karamürsel Havzasına askıda detritik malzeme taşıyarak yüksek sedimantasyona neden olmaktadır. İZ30

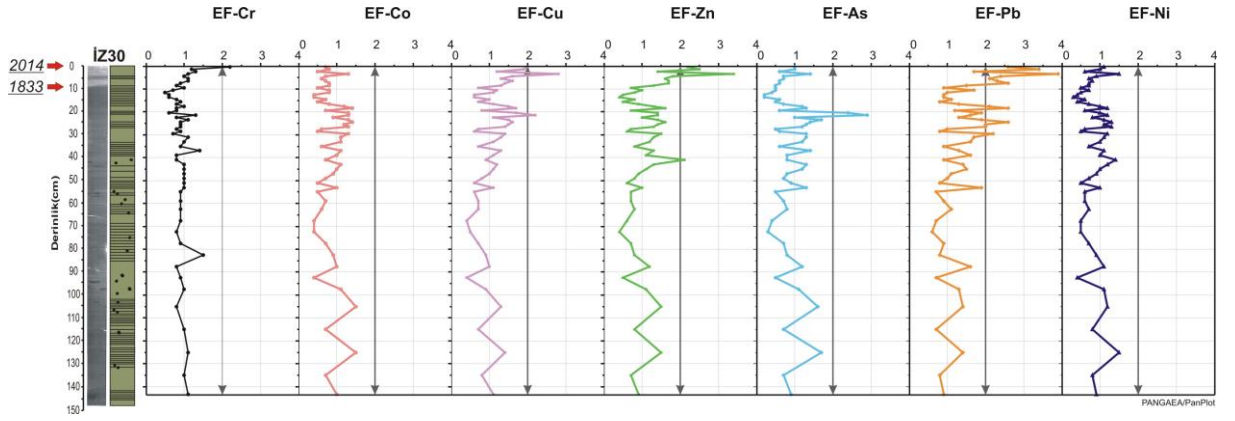
karotundaki çökeller 0.5 mm/yıl sedimantasyon hızıyla çökelirken, sismotürbiditlerin hakim olduğu İZ17 karotunun ilk 56 cm'si 1.4 mm/yıl ve 58-115 cm'si 2.3 mm/yıl sedimentasyon hızıyla depolanmıştır. Sedimantasyon hızında ki bu farklılıklar denizaltı heyelanları ile getirilen ve depolanan sismotürbiditik birimlerden kaynaklanmaktadır. İZ17 karotunda yapılan mikroskobik incelemeler kaba taneli malzemelerin çoğunlukla felsik minerallerden (kuvars ve plajiyoklas) ve karbonatlı bileşenlerden (fosil ve kireçtaşı parçaları) oluştuğunu göstermektedir. Kaba taneli çökeller karotun üst seviyelerinde daha çok orta-ince bileşenlerden oluşurken alt seviyelere doğru ince-çok ince bileşenlerden oluşmaktadır. Körfezde hakim bileşen olan kuvars mineralleri ve kireçtaşı parçaları nispeten daha iri ve köşeli bir yapıya sahiptir. Bu olgu kaba tanelerin taşınma, erozyon ve dalga işlevleri gibi fiziksel parametrelere kısmen uğradığını ve aniden ve/veya kısa süre içerisinde ortamda depolandığını yansıtmaktadır. İnce kesitlerde gözlenen yüksek orandaki kuvars (%44) körfezin özellikle kumtaşı, şist ve felsik magmatik kayalardan beslendiğini göstermektedir.

Gemlik Körfezi karotları MD22A, MD89A ve MD88 sırası ile -38, -38 ve -68 m su derinliklerinden alınmıştır. MD89A ve MD88 karotları açık grimsi lamine çamurdan oluşurken MD22A karotu içerdiği kütle akması birimi ile diğer iki karottan ayrılmaktadır. Karotun 10-15 cm'leri arası koyu kırmızı renkte gözlenen bu birim Kocadere Deltasından kaynaklanmaktadır. Benzer koyu kırmızı çökellerin varlığını Gasperini ve diğerleri (2011) ve Çağatay ve diğerleri (2012) çalışmalarında Kocadere Deltası'nın su altında kalan kısmında tespit etmiştir. Kocadere Nehri etkisi altında olan MD22A ve Karsak Deresi'nin etkisinde olan MD89A karotlarında sedimantasyon oranı yüksektir. Bunun aksine nispeten daha durağan bir lokasyonda bulunan MD88 karotunda düşük sedimantasyon gözlenmektedir. Gemlik Körfezi'nden alınan MD22A, MD89A ve MD88 karotlarının çökeltme hızları sırasıyla 1.7; 1.6 ve 0.8 mm/yıl'dır. MD22A karotu genel olarak karbonatlı bileşenlerden, nispeten mafik minerallerden (piroksen, biyotit) ve az miktarda da volkanik ve metamorfik kayaç parçalarından oluşmaktadır. Karotlardaki mafik çökeller, Mudanya kıyı şeridinde yüzeyleme veren mafik volkanik tüf ve kırıntılardan oluşan Nilüfer biriminden taşınmıştır. Mikroskobik incelemelerde mafik minerallerin çoğunluğunun kloritleşmiş ve serpantinleşmiş halde bulunduğu gözlenmiştir.

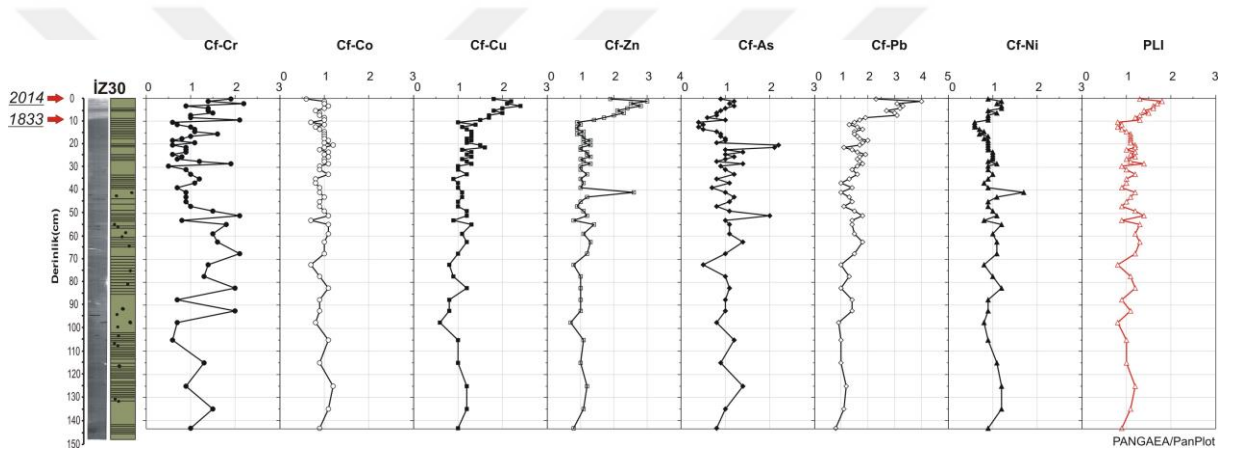
#### 4.2. İzmit ve Gemlik Körfezleri Ağır Metal Birikimi ve Tarihçesi

Denizel çevreye çeşitli yollardan doğal (yüzey akıntısı, nehir boşalımları ve atmosferik çökelim) ve antropojenik (endüstriyel ve evsel atık su, araç emisyonları, tarımsal atıklar) kaynaklı kirleticiler girmektedir (Saher ve Sissiqui, 2016). Bu etkenlerden dolayı kirleticiler özellikle ağır metal konsantrasyonları ekosistem üzerinde sürekli izlenmelidir. Denizlerin ve körfezlerin kirlilik durumlarını, derecelerini ve boyutlarını tartışırken ve yorumlarken kirlilik göstergesi olan EF, CF ve PLI parametreleri kullanılmıştır (Sarı ve diğerleri, 2014; Kılıç ve diğerleri, 2014; Tan ve diğerleri, 2020).

İzmit Körfezi sanayileşme ve nüfus yoğunluğu nedeniyle her geçen gün kirlenmektedir. Kirlilik boyutu körfezdeki antropojenik aktivite yoğunluğuna göre havzalarda farklılık göstermektedir. Gölcük Havzası, Karamürsel Havzasına göre daha az oranda evsel, tarımsal ve endüstriyel kirleticilerin etkisindedir. Gölcük Havzası'nın kuzeyinde bulunan Sarı (Kumla) Deresi 42 Evler kentsel atıksu arıtma tesisi tahliyesi ( $Q_{ort}=35,040 \text{ m}^3/\text{gün}$ ) ve bunun yanısıra endüstriyel (metal, tekstil, kimyasal) atıksu boşalımı ile kirletirken körfezin güneyinde bulunan Kullar (Kiraz) Deresi ( $Q_{ort}=62,000 \text{ m}^3/\text{gün}$ ) ile tarımsal aktivite ve endüstriyel atıksularla kirletilmektedir (Tan ve Aslan, 2020). Gölcük Havzası'ndan alınan İZ30 karotunda ölçümü yapılan metallerin EF ortalaması (parantez) ve dağılım sonuçları; EF-Cr (1) 0,5-2,2, EF-Co (0,9) 0,4-1,5, EF-Cu (1,1) 0,4-2,8, EF-Zn (1,2) 0,4-3,4, EF-As (0,9) 0,2-2,9, EF-Pb (1,5) 0,6-3,9, EF-Ni (0,9) 0,3-1,5'dir. Ortalama EF verilerine göre İZ30 karot çökelleri Cr, Co, Cu, Zn, As, Pb ve Ni ile kirletilmemiştir (Şekil 47). Fakat karotun üst seviyesi (0-9 cm) Cu, Zn ve Pb ile orta derecede kirletilmiştir. Karot tabanına doğru azalan Cu, Zn ve Pb metal trendleri üst seviyedeki zenginleşmenin antropojenik kökenli olduğunu göstermektedir (Şekil 47). CF verilerine göre İZ30 karotunda ölçümü yapılan metallerin CF ortalaması (parantez) ve değişim aralığı; CF-Cr (1,2) 0,5-2,2, CF-Co (1) 0,6-1,2, CF-Cu (1,3) 0,6-2,4, CF-Zn (1,3) 0,7-3, CF-As (1) 0,4-2,2, CF-Pb (1,7) 0,8-4, CF-Ni (1) 0,6-1,7'dir. Benzer şekilde kirlilik faktörü değerleri de karotun 0-9 cm'sinin Cr, Cu, Zn, As ve Ni ile orta derece ve Pb ile ciddi derecede kirletildiğini göstermektedir. EF, CF ve PLI verileri Gölcük Havzası'nın 1833 yılından itibaren antropojenik kirleticiler ile kirletildiğini göstermektedir.

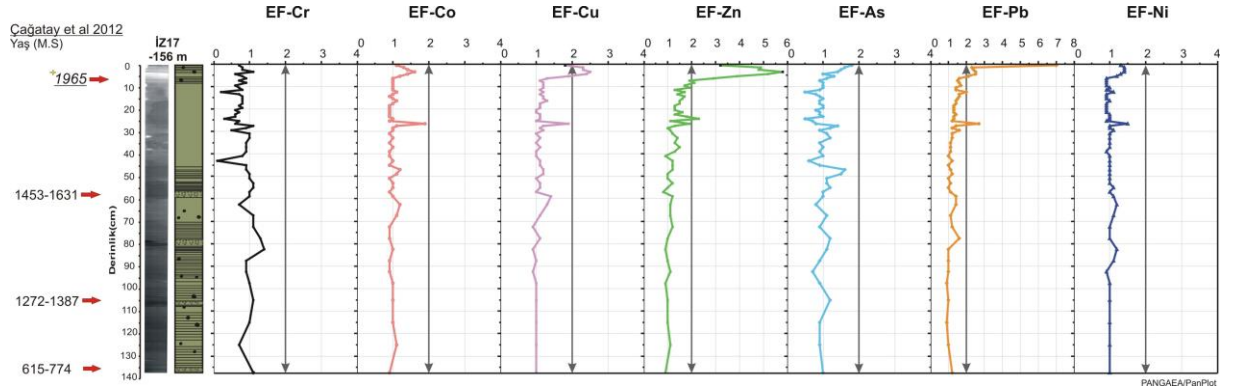


Şekil 47. İZ30 karotu zenginleşme faktörü dağılımı



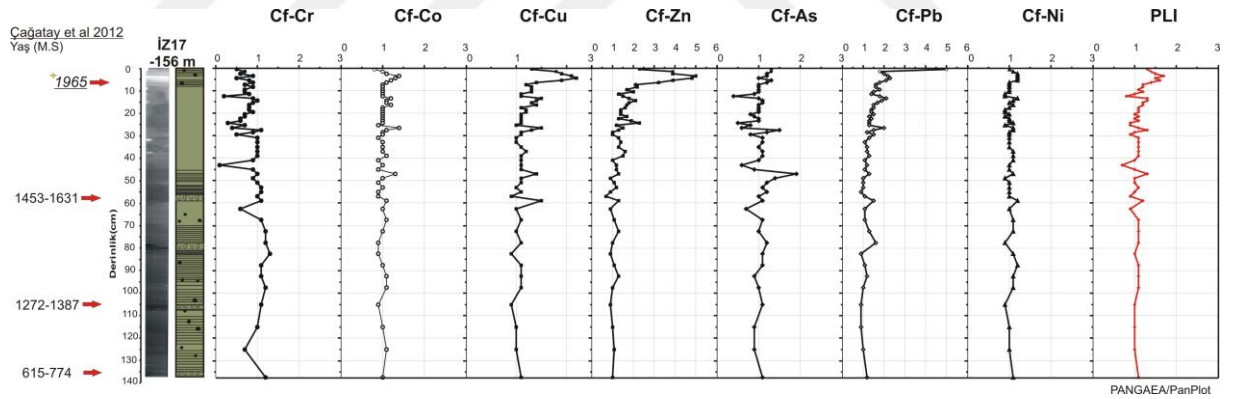
Şekil 48. İZ30 karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı

Karamürsel havzasından alınan İZ17 karotunda ölçümü yapılan elementlerin EF ortalama (parantez) ve dağılım sonuçları; EF-Cr (0,8) 0,1-1,4, EF-Co (1) 0,9-1,9, EF-Cu (1,2) 0,9-2,5, EF-Zn (1,7) 0,8-5,8, EF-As (1) 0,5-1,8, EF-Pb (1,5) 0,9- 7, EF-Ni (1) 0,9-1,5'dir. Geniş bir drenaj alanı olan ve Karamürsel Havzası'na etkisi yüksek olan Dilderesi ve Yalakdere nehirleri kirletici yüklerini zaman içerisinde körfeze boşaltmaktadırlar. İZ17 karotunun EF dağılım grafiği incelendiğinde; Karamürsel Havzası'nın ilk 7 cm'si antropojenik kirlilikten etkilendiği görülmektedir (Şekil 49). <sup>14</sup>C yaş verisine göre kirliliğin başlangıç tarihi 1965'dir. Bu tarihten günümüze kadar olan süre içerisinde Karamürsel Havzası Cu ile orta derecede kirlenirken Zn ve Pb ile ciddi derecede kirlenmiştir.



Şekil 49. İZ17 karotu zenginleşme faktörü dağılımı

İZ17 karotu CF ortalama (parantez) ve dağılım sonuçları; CF-Cr (0,8) 0,1-1,3, CF-Co (1) 0,8-1,4, CF-Cu (1,2) 0,9-2,2, CF-Zn (1,7) 0,7-5, CF-As (1) 0,4-1,9, CF-Pb (1,5) 0,9-5, CF-Ni (1) 0,9-1,2'dir. CF verilerine göre Karamürsel Havzası Co, Cu, As ve Ni ile orta derecede kirletilirken, Zn ve Pb ile ciddi derecede kirletilmiştir.



Şekil 50. İZ17 karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı

### Gemlik Körfezi

MD88 ve MD89A karotlarında gözlenen düşük metal konsantrasyonu nedeni ile bu karotlarda kirlilik parametreleri hesaplanmadı (Tablo 8). Muhtemelen karotların alındığı lokasyonların kirletici kaynaklara uzak olması ve/veya kirleticilerin bu alanlara taşınamaması ve birikmemesi sebebi ile herhangi bir zenginleşme gözlenmemiştir (Bakınız bölüm 3.5.3.) Bu sebeple sadece MD22A karotu metal kirlilik yorumlaması yapılmıştır.

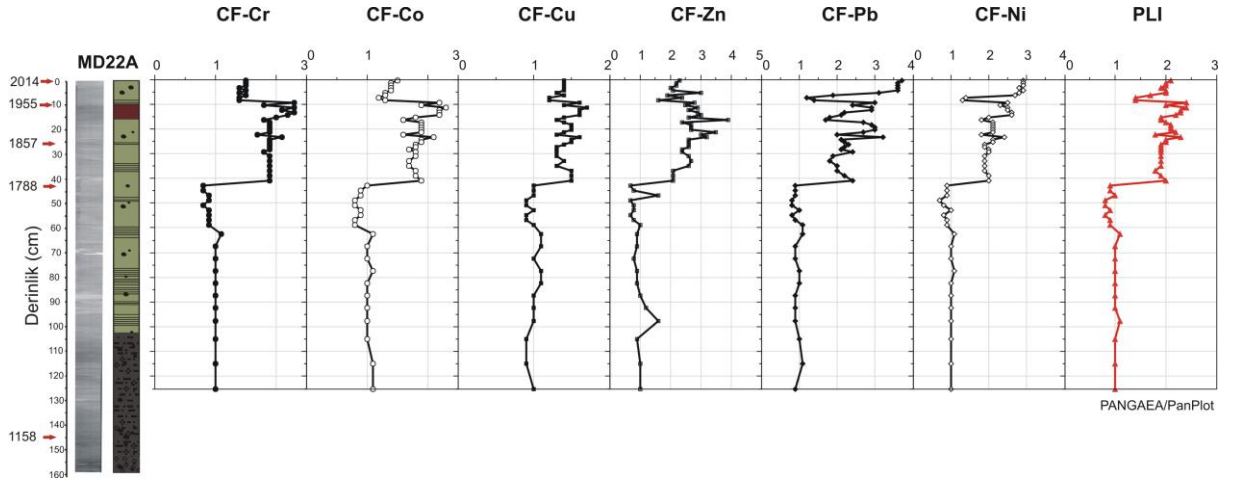
Tablo 8. İzmit ve Gemlik karotlarının element konsantrasyon dağılımları (mg.kg<sup>-1</sup>)

| Karot                 |               | Cr         | Co        | Cu        | Zn         | As       | Pb        | Mn          | Ni         |
|-----------------------|---------------|------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-------------|------------|
| İZ30                  | Background    | 43.4       | 5         | 8.5       | 20.5       | 4.1      | 11.5      | 124.6       | 12.5       |
|                       | Değer aralığı | 21.7-95.8  | 3.2-6.1   | 5.5-20.4  | 14.9-61.1  | 1.6-9    | 9.4-46.5  | 71.6-241.4  | 7-21.5     |
|                       | Ortalama      | 62.6       | 3.9       | 11.7      | 27.6       | 3.5      | 17.7      | 109.6       | 11.3       |
| İZ17                  | Background    | 177.2      | 19        | 28.7      | 74         | 27.3     | 30        | 2009        | 78.6       |
|                       | Değer aralığı | 21.1-227.6 | 15.4-27.1 | 24.7-63.9 | 54.2-370.4 | 12-50    | 26-151.3  | 696-4372.8  | 71.7-94.8  |
|                       | Ortalama      | 150.3      | 19.7      | 35        | 122.7      | 28       | 43.8      | 2184.4      | 81.5       |
| MD22A                 | Background    | 92.5       | 16.7      | 31.7      | 48.3       | -        | 19.4      | 208.8       | 81.1       |
|                       | Değer aralığı | 69.7-216.6 | 13.2-38.1 | 28.3-53.9 | 34.6-187.2 | -        | 14.7-71.8 | 137.6-343.6 | 60.6-236.9 |
|                       | Ortalama      | 139.7      | 24.4      | 40        | 95.2       | -        | 37.3      | 263.7       | 141.9      |
| MD89A                 | Background    | 103.3      | 22.3      | 32.8      | 65.6       | -        | 21.2      | 243         | 106.8      |
|                       | Değer aralığı | 74.5-117.9 | 16.9-24.7 | 23.1-57.6 | 52.2-88.4  | -        | 16.1-36.3 | 125.5-294.6 | 76.6-117.3 |
|                       | Ortalama      | 99.1       | 21.2      | 37.4      | 71.2       | -        | 24.8      | 208.3       | 96.5       |
| MD88                  | Background    | 96.3       | 5.3       | 5.9       | 35.3       | 8.7      | 18.3      | 321.6       | 42.5       |
|                       | Değer aralığı | 35.7-170.3 | 3.5-9.3   | 4.4-11.5  | 17.2-62.4  | 2.9-15.6 | 8.8-57.3  | 99.2-437.5  | 20.5-67.2  |
|                       | Ortalama      | 72.8       | 7.2       | 8.9       | 36.1       | 7.1      | 32.7      | 236.9       | 45.9       |
| Krauskopf şeyl (1979) |               | 100        | 20        | 57        | 80         | 13       | 20        | 850         | 95         |
| TEL <sup>a</sup>      |               | 52.3       | -         | 18.7      | 124        | 7.2      | 30.2      | -           | 15.9       |
| PEL <sup>a</sup>      |               | 160.4      | -         | 108.2     | 271        | 41.6     | 112.2     | -           | 42.8       |
| ERL <sup>a</sup>      |               | 81         | -         | 34        | 150        | 8.2      | 46.7      | -           | 20.9       |
| ERM <sup>a</sup>      |               | 370        | -         | 270       | 410        | 70       | 218       | -           | 51.6       |

(<sup>a</sup>) Long ve diğerleri, (1995)

MD22A karotu EF ortalama (parantez) ve dağılım sonuçları; EF-Cr (3,4) 0,5-14,6, EF-Co (3,3) 0,5-14,6, EF-Cu (2,8) 0,6-11,1, EF-Zn (4,7) 0,5-27,1, EF-Pb (4,7) 0,5-20,8, EF-Ni (4) 0,6-16,5'dir. Karotta 45 cm'den sonra metal değerleri sönümlenerek devam etmektedir. Karotun ilk 45 cm'si Cr, Co, Cu, Pb, Zn, ve Ni ile kirletilmiştir. Buna göre kirlilik başlangıç tarihi C-14 yaşlarına göre 1788'dir (Şekil 51). Karotta kütle akması birimi altında maksimum seviyede zenginleşme gösteren metaller kaotik yapının çökmesi ile zenginleşme derecesi minimum seviyelere düşmektedir. Kütle akması biriminin bitimi ile metallerde tekrardan zenginleşme gözlenmektedir. Karotta 16 cm ile 22 cm'ler arası çökeller Cr, Co, Cu, Pb ve Ni ile ciddi derecede zenginleşirken, Pb ile aşırı ciddi derecede zenginleşmektedir. Maksimum seviyede gözlenen kirlilik yaklaşık 1857 yılına karşılık gelmektedir.





Şekil 52. MD22A karotu kirlilik faktörü ve kirlenme yük indeksi dağılımı

#### 4.3. Ağır Metal Kirlilik Kaynağı

Türkiye'nin en önemli sanayi ve endüstri şehri konumunda olan İzmit şehri geniş bir endüstri alanına ve yoğun insan nüfusuna sahiptir. Özellikle körfezin kuzey kısmı petrol rafinesi, demir-çelik sanayi ve boya endüstrisi gibi birçok endüstri işletmeciliğine ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 6). Boya sanayisinin yoğunluk gösterdiği alanlardan bir diğeri ise Dilovası ve çevresidir. Körfezin Gölcük Havzası nispeten sanayileşmenin daha durağan olduğu ve dolayısıyla Karamürsel Havzasına göre daha az kirletici etkiye sahip bir alandır. Bütün bu antropojenik aktivitelerin İzmit Körfezi'ne olası kirlilik etkileri İZ17 ve İZ30 sediment karotlarıyla araştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen metal verileri İZ17 karotunun İZ30'a göre en az 4 kat daha fazla metal zenginleşmesine maruz kaldığını göstermektedir (Tablo 8). Bu sebeple metal zenginleşmesinin gözlemlendiği İZ17 karotu çökellerinin kirletici kaynakları bu başlık altında incelenmiştir. Metal zenginleşmesinin boyutunu ve kökenini ortaya çıkarmak için birçok matematiksel model kullanılmaktadır (Islam ve diğerleri, 2018; Wan ve diğerleri, 2020; Nguyen ve diğerleri, 2020). Faktör analizi bu modellerden biri olup tez kapsamında kullanılmıştır. Buna göre her bir elementin birbiriyle olan ilişkisi belirlenerek, olası kirletici kaynaklar belirlenmiştir. Principal component analiz (PCA) verilerine göre; İZ17 karotunda ölçümü yapılan elementlerin 3 gruba ayrılması, metallerin 3 farklı kaynaktan beslendiklerini göstermektedir. Grup 1 Al, Fe ve Mn; grup 2 Cu, Zn, Co, Ni ve Pb; grup 3 Cr ve As'ten oluşmaktadır.

Grup 1 Al, Fe ve Mn'dan oluşmaktadır. Bu üç element çalışma alanında aynı kaynaktan ve/veya benzer jeokimyasal döngülerden etkilenmiştir. Alüminyum doğada en fazla killerde bulunmaktadır. Genel olarak killeri yapısında fazla miktarda alüminyum ve silis bulundurmakta ve çevre kayaçların ayrışması ve çözünmesinden meydana gelmektedir (Çağatay ve diğerleri, 2006). İZ17 karotunda alüminyum Mn ile orta (Al-Mn:0.579), Fe ile kuvvetli (Al-Fe: 0.882) korelasyona sahiptir (Tablo 9).

Tablo 9. İZ17 karotu elementlerinin Pearson korelasyon katsayısı

|            | Al     | Cr     | Co     | Cu     | Zn     | As    | Pb    | Mn     | Ni    | Fe    |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Korelasyon | 1,000  |        |        |        |        |       |       |        |       |       |
| Al         | 1,000  |        |        |        |        |       |       |        |       |       |
| Cr         | ,384** | 1,000  |        |        |        |       |       |        |       |       |
| Co         | ,123   | -,080  | 1,000  |        |        |       |       |        |       |       |
| Cu         | -,202  | -,193  | ,701** | 1,000  |        |       |       |        |       |       |
| Zn         | -,252  | -,268  | ,532** | ,908** | 1,000  |       |       |        |       |       |
| As         | ,047   | ,547** | ,142   | ,277*  | ,170   | 1,000 |       |        |       |       |
| Pb         | -,346  | -,357  | ,167   | ,523** | ,534** | ,127  | 1,000 |        |       |       |
| Mn         | ,579** | -,083  | ,125   | -,125  | -,106  | -,255 | ,018  | 1,000  |       |       |
| Ni         | ,169   | ,153   | ,688** | ,625** | ,462** | ,212* | ,126  | -,234  | 1,000 |       |
| Fe         | ,882** | ,243*  | ,248*  | -,166  | -,285  | -,049 | -,186 | ,648** | ,221* | 1,000 |

\*\*Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlılık (2-fazlı)

\*Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlılık (1-fazlı)

Derin çukur çökellerde az oranda Fe zenginleşmesinin kısmen askıda madde olarak çökmesi kısmen de diyajenez sonucu oluşması olası bir durumdur (Raiswell ve Berner, 1985; Calvert ve Pederson, 1993; Çağatay ve diğerleri, 2004). Çökellerde Fe zenginleşmesi detritik malzeme girdisi ile ilişkili olduğu gibi diyajenetik koşullar sonucu da zenginleşmiştir. Mn'nin miktarını ve dağılım özelliklerini redoks koşulları belirlemektedir (Çağatay ve diğerleri, 2006). Oksik (oksijenli) deniz suyunda Mn elementi  $MnCl^+$  ve  $Mn^{+2}$  iyonları halinde bulunur. Ortamda oksijenin azalması ile iyonlar Mn(III) ve Mn(IV) oksihidroksitlere dönüşür. Oksijen seviyesinin daha da düştüğü (100  $\mu M$ ) deniz tabanına yakın deniz suyunda Mn-oksihidroksitleri indirgenir ve serbest hale geçen Mn konsantrasyonları maksimum değerlere ulaşır (Spencer ve Brewer, 1971; Klinkhammer ve Bender, 1980). Çökellerde gözlenen Mn değerlerindeki artış sismotürbiditik birimlerin çökmesi ile birlikte ortamın

oksijen seviyesinin değiştiğini yansıtmaktadır. Alüminyum'un Mn ve Fe arasındaki bağ detritik kökenli bir zenginleşmenin olduğunu göstermektedir. Fakat Mn ile Fe arasında gözlenen kuvvetli korelasyon ( $r: 0.648$ ) zenginleşmenin aynı zamanda diyajenetik kökenli olduğunu da yansıtmaktadır. Korelasyon katsayısına göre Co, Cu, Zn, Ni ve Pb arasında orta ve kuvvetli bağ bulunmaktadır. Bu ilişki bu ağır metallerin aynı kaynaktan beslendiğini ve/veya oluştuğunu belirtmektedir.

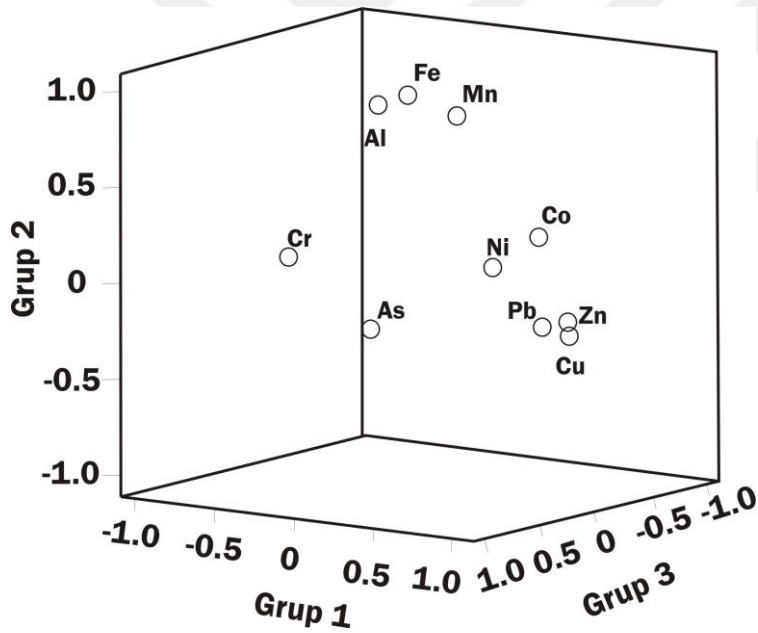
Grup 2 olarak sınıflandırılan Co, Cu, Zn, Ni ve Pb elementlerinin detritik girdiden ziyade endüstri kaynaklı zenginleştiği EF, THg ve TOK verileri ile desteklenmektedir. Karotun üst seviyelerindeki Zn, Pb ve Cu zenginleşme faktörlerinin yüksek (EF-Zn: 6, EF-Pb: 7, EF-Cu: 2,5) olmasının yanında; toplam cıva (THg:  $3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) ve TOK değerlerinde (TOK:%3) yüksek tespit edilmesi ve bu verilerin karot alt seviyelerine doğru azalarak temel değerlere ulaşması, endüstriyel kökenli kirleticileri desteklemektedir. Sarı ve diğerleri (2018), karot çökellerinde üst seviyeler de gözlenen yüksek metal değerlerinin antropojenik kökenli kirlilik girdilerini temsil ettiğini, alta doğru sönümlenen değerlerin background değerlerini yansıttığını belirtmişlerdir. Pb, Zn ve Cu ağır metallerde ki zenginleşme endüstri kaynaklı olduğu gibi çevredeki maden ve cevher zonlarından da kaynaklanmaktadır. Karamürsel Havzası'na Kocasu (Susurluk ve Nilüfer çayları) ve Gönen akarsuları büyük oranda askıda katı madde taşımaktadırlar. Bu akarsuların drenaj alanlarında Pb, Zn ve Cu maden ve cevher zonları yer almaktadır (Apaydın ve Erseçen, 1981; Çağatay ve diğerleri, 2006). Çalışmada Pb-Cu ve Pb-Zn arası gözlenen benzer korelasyon (sırasıyla  $r: 0,523$  ve  $0,534$ ) ortama kısmen cevher zonlarından da malzeme geldiğini göstermektedir (Tablo 9). Ağır metallerin zenginleşmesinde Dil Deresi'nin etkisi kaçınılmaz oranda fazladır. Dil Deresi direkt olarak yaklaşık %60 toplam atık su ve %80 TOK İzmit Körfezine boşaltmaktadır (Telli-Karakoç ve diğerleri, 2002; Pekey ve diğerleri, 2004b). Ayrıca Türkiye'nin endüstrileşmiş havzalarından olan Dil Deresi; boya, kimyasal ve metal işleme olmak üzere yaklaşık 120 adet endüstriyel alana ev sahipliği yapmaktadır (Pekey, 2006). Ağır metallerden Pb'nun en önemli tüketim alanı akü imalatı ve korozyonu önlemek amacıyla kurşun oksit boyalardır. Ayrıca arıtma, madencilik, eritme, kaynak, boya, vitray ve seramik cam imalatı dahil 900'den fazla meslek kurşuna maruz kalmakta ve bu da kurşun zehirlenmesine yol açmaktadır (Patocka ve Cerny, 2003). Kurşun'un yanı sıra boya sanayisinde Cu, Cr ve Co da kullanılmaktadır. Zn ile Cu arası gözlenen kuvvetli korelasyon katsayısı ( $r: 0.908$ ) bu ağır metallerin boya endüstrisiyle

birlikte metal işleme sanayisinin etkisini de ortaya çıkarmaktadır. Benzer şekilde metal sanayisinden kaynaklanan Co-Cu, Co-Ni ve Cu-Ni arası kuvvetli korelasyon (sırasıyla  $r$ : 0.701; 0.688; 0.625) gözlenmektedir. İZ17 karot çökelinin üst seviyesinde Cu haricinde Ni ve Co da herhangi bir zenginleşme gözlenmemesi boya sanayisinin etkisinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Grup 3 As ve Cr elementlerinden oluşmaktadır. Arseniğin, Cr dışında diğer ağır metaller ile arasında ciddi bir korelasyon gözlenmemektedir (Tablo 10, Şekil 53). As ile Cr arası orta pozitif bir korelasyon ( $r$ : 0.547) gözlenmesi bu ağır metallerin çevreye benzer kaynaklardan salındığını desteklemektedir. Olası kaynak petrol arıtma tesislerinden kaynaklanmaktadır. Bhattacharyya ve Shekdar (2003), Cr'un petrol arıtma işlemlerinde atık ürün olduğunu (kg yağlı çamur başına ortalama 27-80 mg) ve yanlış bir atık sistemi rafineri tesisi çevresinde ciddi bir toprak kirliliğine yol açabileceğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde As de petrol arıtma işlemlerinin atık ürünüdür. Geleneksel atık arıtma teknikleri petrolde bulunan arsenik türünün (As(III) ve As(V)) giderilmesinde etkili bir yöntem değildir (Tonietto ve diğerleri, 2010). Ayrıca çimento fabrikaları hammadde işleme, öğütme ve paketleme işlemleri sırasında tozlar üretir: bu toz partikülleri aralarında Cr ve As türlerinin bulunduğu bir çok elementten oluşmakta ve salındığı ortamdan yüzlerce metre ötede birikirler (Gbadebo ve Bankole, 2007). Çalışma alanında As ve Cr daha çok petrol ve çimento sanayi tarafından zenginleştirildiği, As aynı zamanda tarım alanlarındaki ilaçlamalardan da etkilendiği belirlenmiştir.

Tablo 10. İZ17 karotu elementlerinin PCA analizi

| Element | Grup  |       |       |
|---------|-------|-------|-------|
|         | 1     | 2     | 3     |
| Cu      | -,158 | ,956  | ,016  |
| Zn      | -,242 | ,870  | -,115 |
| Co      | ,289  | ,813  | ,079  |
| Ni      | ,165  | ,732  | ,383  |
| Pb      | -,265 | ,553  | -,339 |
| Fe      | ,953  | ,002  | ,095  |
| Al      | ,910  | -,081 | ,246  |
| Mn      | ,778  | -,034 | -,401 |
| Cr      | ,200  | -,203 | ,867  |
| As      | -,153 | ,238  | ,761  |



Şekil 53. İZ17 karotu elementlerinin 3 boyutlu PCA analizi

MD22A karotunda ağır metal değerleri 0-45 cm'de yüksek gözlenmekte ve bu seviyeden karot tabanına kadar düşük değerler almaktadır. MD22A karotu 45 cm'den sonra ölçümü yapılan elementlerin tamamı background (temel) değerleri yansıtmaktadır. 0-45 cm'de gözlenen bu artış kirlenici kaynağının antropojenik kökenli olduğunu yansıtmaktadır.

Nitekim EF verileri Gemlik Körfezi çökellerinin Cu, Co, Cr, Zn ve Ni ile ciddi derecede Pb ile aşırı ciddi derecede kirletildiğini göstermektedir. Bakır, Co, Cr, Zn, Ni ve Pb arasında kuvvetli pozitif korelasyon vardır (Tablo 11). MD22A karotu kirlilik kaynağına göre tek gruba ayrılmıştır (Tablo 12).

Tablo 11. MD22A karotu elementlerinin korelasyon katsayısı

|            | Cr | Co    | Cu    | Zn    | Pb    | Ni    | Al    |
|------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Korelasyon | Cr | 1,000 |       |       |       |       |       |
|            | Co | ,983  | 1,000 |       |       |       |       |
|            | Cu | ,942  | ,936  | 1,000 |       |       |       |
|            | Zn | ,893  | ,864  | ,858  | 1,000 |       |       |
|            | Pb | ,716  | ,723  | ,841  | ,736  | 1,000 |       |
|            | Ni | ,780  | ,768  | ,905  | ,785  | ,936  | 1,000 |
|            | Mn | ,795  | ,809  | ,836  | ,748  | ,871  | ,863  |
|            | Al | -,486 | -,544 | -,528 | -,493 | -,589 | -,530 |
|            |    |       |       |       |       |       | 1,000 |

Tablo 12. MD22A karotu elementlerinin PCA analizi

|    | Grup  |
|----|-------|
|    | 1     |
| Cu | ,967  |
| Co | ,935  |
| Cr | ,933  |
| Ni | ,925  |
| Zn | ,900  |
| Pb | ,900  |
| Al | -,642 |

Kocasu Nehri kirleticisi kaynağının temelini oluşturmaktadır. Sarı (2008), Bursa'yı drene eden Nilüfer Çayı'nın Kocasu Nehri'ne Cu, Co, Cr, Zn, Ni ve Pb taşıdığı belirlemiştir. Kocasu Nehri Gemlik Körfezi'nin batı kısmına yıllık ortalama  $6.5 \times 10^5$  t (Ergin ve Bodur, 1999) askıda katı madde taşıyan en önemli sediment kaynağıdır. Gemlik Körfezi'nin Kocasu Nehri'nden olumsuz etkilendiği MD22A karotunun EF verileriyle desteklenmektedir.

#### 4.4. Ağır Metallerin Canlı Sağlığına Etkisi

Tez kapsamında çalışılan karotların yüzeylerinde gözlenen yüksek konsantrasyondaki Co, Cu, Cr, Pb, Zn, THg ve As verileri canlı organizmalar için oldukça risklidir. Bu kapsamda özellikle bu elementlerin kullanıldığı endüstriyel iş yerlerinde çalışanların ve besin zincirini oluşturan balık ve midyelerin takip edilerek, yerel halkın sık sık bilgilendirilmesi önemlidir. Bu başlık altında sediment kalitesi sınıflandırması esas alınarak Tablo 6'daki elementlere ait ERL-ERM, TEL-PEL toksikolojik açıklama yapılmıştır. Ayrıca ölçümü yapılan elementlerin canlılar üzerine olumsuz etkileri aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

İZ30 karot çökelleri Cr, Cu, Zn, As, Pb, Ni ortalama değerleri canlılar üzerinde olumsuz etki oluşturabilecek düzeyde konsantrasyon içermemektedir (Tablo 8). Tablo 8'de element ortalama değerleri, PEL ve ERM yüksek toksisite değerlerinin oldukça altında kalmaktadır. İZ17 karotunda ortalama Ni, PEL ve ERM değerleri üzerinde kalırken diğer elementlerin (Cr, Cu, Zn, As, Pb) toksisitesi düşük düzeydedir. Güncel kirliliği yansıtan karotun üst seviyesinde (0-10 cm) Zn konsantrasyonu TEL-PEL arası değerler almakta hatta karotun 2-6 cm'ler arası Zn, PEL değerinin üzerinde değer almaktadır. MD22A karotunda benzer şekilde sadece Ni elementi PEL ve ERM değerinin üzerinde değer almaktadır. Krom ve Cu ortalama değeri ERL-ERM arasında kalmaktadır. MD89A karotunda Cr ve Cu değerleri TEL-PEL ve ERL-ERM arasında kalmaktadır. Çinko ve Pb ortalama konsantrasyonu oldukça düşük düzeydedir. MD89A karotunda da benzer şekilde Ni ortalama değeri PEL ve ERM üzerinde kalmakta ve toksisitesi yüksek düzeydedir. MD88 karotunda ortalama Cr ve Pb değeri TEL-PEL arası değerler alırken Cu, Zn ve As elementlerin toksisitesi oldukça düşük düzeydedir (Tablo 8). MD88 karotunda Ni, PEL üzeri değerler alırken diğer sınıflandırmada ERL-ERM arasında kalmaktadır.

Kurşun, hem inorganik hem de organik elementler şeklinde gıda, su ve toprakta eser miktarda bulunan (Qayyum ve diğerleri, 2012; Rahman ve Sultana, 2006) yaygın bir çevresel ve endüstriyel kirleticidir (Cerny, 2003). Kurşunun neden olduğu çevre kirliliğinin çoğu, binaların dış cephelerinde kurşun boya kullanılması sonucudur (Godwin, 2001). İnorganik kurşun bileşikleri ve kurşun tozu gibi elementel kurşun, sindirim sistemi ve solunum sistemi yoluyla emilebilir (Patocka ve Cerny, 2003). Kovalent bağlara dayalı organik kurşun bileşikleri, inorganik kurşun tuzlarından (kurşun asetat gibi) farklı toksikolojik etkilere sahiptir (Fu ve Xi, 2020). Organik kurşun bileşikleri deriden emilebilir ve daha sonra beyine

girerek merkezi sinir sisteminde toksine neden olabilir (Marshall ve diğerleri, 2007). Daha sonra Pb, hücre dışı sıvı halini aldıktan sonra plazmaya emilir ve yumuşak dokularda ve sert dokularda birikir (Fu ve Xi, 2020). Son olarak Pb, esas olarak üriner ve sindirim sistemi yoluyla atılır (Patocka ve Cerny, 2003).

İnsanların arseniğe maruz kalması, endüstriyel ve/veya tarımsal atıklarla kirlenmiş içme suyuna maruz kalma nedeniyle olabilir (Hughes ve diğerleri, 2011). Arsenik zehirlenmesine böcek ilacı ile kirlenmiş yiyecekler, arsenik açısından zengin yiyecekler veya verimli topraklarda yetişen yiyecekler yemek neden olabilir (Antonowicz ve diğerleri, 1990). İnsan vücuduna As ayrıca soluma ve cilt teması ile geçer (Fu ve Xi, 2020). Dünya çapında 140 milyondan fazla insan, Dünya Sağlık Örgütü'nün 10 ppb sınırını (Lenczewski, 2009) aşan arsenikle kirlenmiş içme suyu tüketiyor; Bangladeş ve Batı Bengal'deki yer altı suyu en yüksek arsenik seviyelerine sahiptir (Rahman, 2002). Bu bölgede yaşayan 35 milyon ile 77 milyon insan arseniğe maruz kalıyor, içme suyundaki konsantrasyon 10 ppb ile 4 ppm arası değişiyor ve bu maruziyet nedeniyle ~1/5 kişi yaşamını kaybediyor (Fu ve Xi, 2020). Bu nedenle As kirliliği küresel bir endişe kaynağıdır (Rahman, 2002; Argos ve diğerleri, 2010). Arsenik cilt ve mesane kanserine yol açmasının yanı sıra (Yu ve diğerleri, 2006) ayrıca karaciğeri (Liaw ve diğerleri, 2008), böbrekleri (Yuan ve diğerleri, 2010) ve akciğerleri (Smith ve diğerleri, 2006) etkiler.

Nikel yeryüzünde en çok bulunan 24. elementtir ve yer kabuğunun %3'ü nikelden oluşur (Fu ve Xi, 2020). Nikelin insan vücudunun çeşitli işlevleri için önemli olduğu düşünülmektedir. Fakat fazla maruz kalma insan zehirlenmesine neden olabilir (Diagomanolin ve diğerleri, 2004; Haber ve diğerleri, 2000; Ognjanovic ve diğerleri, 2010). Ağız yolu ile nikel maruz kalmanın ana yolu nikel içeren bileşiklerle kirlenmiş yiyecek ve içeceklerdir (Haber ve diğerleri, 2000). İnsan vücudunda nikel, serbest radikaller üretmek için moleküler oksijen ile reaksiyona girer ve bu da sonunda nikel toksisitesine yol açar (Das ve diğerleri, 2006). Araştırmacılar, idrarda kalsiyum atılımının azalmasının bir sonucu olarak, insan vücudundaki fizyokimyasal özelliklerin nikel maruz kalması nedeniyle değişebileceğini bulmuşlardır (Fu ve Xi, 2020). M'Bemba-Meka ve diğerleri (2006), çalışmalarında kültürlenmiş kırmızı kan hücrelerini incelemişlerdir. Bu hücrelerin nikel maruz kalması nedeniyle oksidatif stres altında olduğunu bulmuşlar ve bu da nikelin kan toksisitesini tetiklemede rol oynadığını belirtmişlerdir.

Cıva doğal ortamda element, inorganik ve organik şekillerde bulunan yaygın bir ağır metal kirleticisidir (Li ve diğerleri, 2016). Bu üç form farklı toksisiteye sahiptir, element formu aralarında en az toksik etkidendir (Clarkson, 1997). Cıva, inorganik cıvaya maruz kalan bireyler tarafından üretilen otoimmün hastalıkların ve antinökleer antikorların ana nedenidir (Crowe ve diğerleri, 2017). Cıva aynı zamanda Alzheimer ve Parkinson hastalıklarına neden olan bir ajandır (Chin-Chan ve diğerleri, 2015). Bu sebeple tüm formları merkezi sinir sistemi ve sindirim sistemi üzerinde güçlü toksik etkilere sahiptir (Crowe ve diğerleri, 2017).

#### **4.5. Metal Sonuçlarının Daha Önceki Çalışmalar İle Karşılaştırılması**

Tez kapsamında İzmit ve Gemlik Körfezi karot çökeli metal değerleri daha önceki İzmit, Gemlik, Bandırma, Erdek ve İzmir körfezleri çalışmalarında ki metal değişim aralıkları ile karşılaştırılarak Tablo 13’de sunulmuştur. İzmit ve Gemlik Körfezlerindeki Cr değerleri değişim aralığı sırasıyla 21.1-227.6 ile 35.7-216.6 mg.kg<sup>-1</sup>’dır. Bu değerler ortalama şeyl (Krauskopf, 1979) verisine göre yüksek, Arslan Kaya ve diğerleri (2020)’nin çalışmalarında ki Cr değerlerine göre düşüktür. Erdek Körfezi’nde yüksek Cr değerlerinin Gönen Nehri drenaj alanındaki deri işleme tesislerinden kaynaklandığı Sarı, (2008) makalesinde tespit edilmiştir. Bu çalışmada ki İzmit Körfezi Zn değerleri (14.9-370.4 mg.kg<sup>-1</sup>) diğer alanlara göre yüksek konsantrasyon aralığındadır. Aynı şekilde Pekey, (2006) çalışmasında maksimum Zn değerini 1900 mg.kg<sup>-1</sup> olarak belirlemiştir. İzmit Körfezi’nde Zn de gözlenen yüksek değerler körfez civarında ki metal işleme tesislerinden özellikle de galvanizleme işlevlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışma da Co konsantrasyon aralıkları İzmit Körfezi için 3.2-27.1 mg.kg<sup>-1</sup> ve Gemlik Körfezi için 3.5-38.1 mg.kg<sup>-1</sup>’dır. Tablo 13 incelendiğinde Erdek ve Gemlik Körfezlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Arslan Kaya ve diğerleri (2020)’nin Erdek Körfezi’nde elde ettikleri Co değerlerinin düşük gözlenmesinin nedeni muhtemelen karotun alındığı lokasyonun Co ile yeterince beslenememesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 13. Çalışma kapsamındaki metal değerlerinin diğer çalışmalar ile karşılaştırılması (mg.kg<sup>-1</sup>).

| Lokasyon                                          | Cr   |       | Zn   |       | Co  |      | As   |      | Pb   |       | Cu   |       |
|---------------------------------------------------|------|-------|------|-------|-----|------|------|------|------|-------|------|-------|
|                                                   | min  | maks  | min  | maks  | min | maks | min  | maks | min  | maks  | min  | maks  |
| İzmit Körfezi<br>(Bu çalışma)                     | 21.1 | 227.6 | 14.9 | 370.4 | 3.2 | 27.1 | 1.6  | 50   | 9.4  | 151.3 | 5.5  | 63.9  |
| Gemlik Körfezi<br>(Bu çalışma)                    | 35.7 | 216.6 | 17.2 | 187.2 | 3.5 | 38.1 | 2.9  | 15.6 | 8.8  | 71.8  | 4.4  | 57.6  |
| Erdek Körfezi<br>(Arslan Kaya ve diğerleri, 2020) | 21   | 430   | 15   | 36    | 3   | 5.3  | 4    | 25   | 48   | 88    | 10   | 20    |
| Erdek Körfezi<br>(Balkıs ve Çağatay, 2001)        | 11   | 238   | 34   | 272   | 6   | 29   | X    | X    | 19   | 61    | 3    | 52    |
| Bandırma Körfezi<br>(Mülayim ve diğerleri, 2012)  | 3.2  | 229   | 25   | 80    | X   | X    | X    | X    | 17   | 35    | 0.1  | 27    |
| Gemlik Körfezi<br>(Ünlü ve diğerleri, 2007)       | 71   | 181   | 88   | 185   | 13  | 24   | X    | X    | <0.1 | 67    | 22   | 58    |
| İzmit Körfezi<br>(Pekey, 2006)                    | 38.9 | 112.4 | 440  | 1900  | X   | X    | 13.5 | 28.2 | 55.2 | 172   | 24.5 | 102.4 |
| İzmir Körfezi<br>(Atgın, 2000)                    | 208  | 308   | 99   | 260   | X   | X    | 25   | 30   | 36   | 62    | 32   | 70    |
| Ortalama şeyl<br>(Krauskopf, 1979)                | 100  |       | 80   |       | 20  |      | 6.6  |      | 20   |       | 57   |       |

Arsenik İzmit Körfezi'nde 1.6-50 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler alırken, Gemlik Körfezi'nde 2.9-15.6 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. İzmit Körfezi'ndeki konsantrasyon aralığı diğer alanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bölüm 4.3 de değinildiği üzere As muhtemel kaynağı petrol arıtma tesisleri ve tarımsal aktivitelerden kaynaklanmaktadır. Kurşun değeri İzmit Körfezi'nde yapılan çalışmalarda (bu çalışma ve Pekey, 2006) oldukça yüksek gözlenmiştir. Bu çalışmada 9.4-151.3 mg.kg<sup>-1</sup> değer aralığında bulunurken, Pekey (2006)'nın çalışmasında 55.2-172 mg.kg<sup>-1</sup> arası değerler almaktadır. Bu çalışmadaki İzmit Körfezi maksimum Cu metal değerleri ortalama şeyl değerlerine göre nispeten yüksek, gözlenirken Gemlik Körfezi'nde çoğunlukla şeyl değeri altında değerler almaktadır.

## 5. SONUÇLAR

1. İzmit Körfezi Karamürsel Havzasından -156 m su derinliğinden İZ17 gravite karotu, Gölcük Havzasından -28 m su derinliğinden İZ30 gravite karotu alınmıştır. İZ17 karot çökelleri %74,80 kil, %20 silt ve %5,22 kum ve çakıldan oluşmuştur. İZ30 karot çökelleri %78,2 kil, %21,3 silt ve %0,5 kum ve çakıldan oluşmuştur.
2. İZ17 karot çökellerinin element background ve ortalama (parantez içinde) değerleri 71947,5 (73010 Al), 177,2 (150,3 Cr), 19 (19,7 Co), 28,7 (35 Cu), 74 (122,7 Zn), 27,3 (28 As), 30 (43,8 Pb), 2009 (2184,4 Mn), 78,6 (81,5 Ni), 0,08 (0,4 Hg) ve 45495 (47608,5 Fe) mg.kg<sup>-1</sup> iken İZ30 karotunun 22119 (19900,5 Al), 43,4 (62,5 Cr), 5 (3,9 Co), 8,5 (11,7 Cu), 20,5 (27,6 Zn), 4,1 (3,5 As), 11,5 (17,7 Pb), 124,6 (109,6 Mn), 0,14 (1,1 Hg) ve 12,5 (11,3 Ni) mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Elde edilen veriler Karamürsel havzasının daha fazla kirletici etkiye maruz kaldığını göstermektedir.
3. İZ30 karot çökeline element zenginleşmesi gözlenmezken, İZ17 karot çökeline zenginleşme gözlenmiştir. Bu sebeple İZ17 karotunda meydana gelen element zenginleşmesinin kökeni ve boyutu ortaya çıkarılmıştır. PCA analiz verisine göre İZ17 karot çökelleri kirletici kaynak bakımından 3 gruba ayrılmıştır. Grup 1: Al, Fe ve Mn detritik ve diyajenetik kökenli, grup 2: Cu, Zn, Co, Ni ve Pb endüstri kaynaklı (boya, demir-çelik sanayisi), grup 3: Cr ve As petrol kaynaklıdır. İzmit Körfezi kuzeyinde yer alan Dilovası ve civarı boya ve demir-çelik sanayileşmenin geniş yayılım gösterdiği alandır. Körfez ve Derince bölgesinde mevcut olan birçok petrol tesislerin atık ürünleri As ve Cr elementlerinin sucul ortama deşarj edildiğini ve ayrıca çökellerde depolandığını göstermektedir.
4. İZ30 karotu EF ortalama (parantez) ve dağılım sonuçları; EF-Cr (1) 0,5-2,2, EF-Co (0,9) 0,4-1,5, EF-Cu (1,1) 0,4-2,8, EF-Zn (1,2) 0,4-3,4, EF-As (0,9) 0,2-2,9, EF-Pb (1,5) 0,6-3,9, EF-Ni (0,9) 0,3-1,5'dir. Ortalama EF verilerine göre İZ30 karot çökelleri Cr, Co, Cu, Zn, As, Pb ve Ni ile kirletilmemiştir. İZ17 karotu EF ortalama (parantez) ve dağılım sonuçları; EF-Cr (0,8) 0,1-1,4, EF-Co (1) 0,9-1,9, EF-Cu (1,2) 0,9-2,5, EF-Zn (1,7) 0,8-5,8, EF-As (1) 0,5-1,8, EF-Pb (1,5) 0,9- 7, EF-Ni (1) 0,9-1,5'dir. Geniş bir drenaj alanı olan ve Karamürsel

Havzasına etkisi yüksek olan Dilderesi ve Yalakdere Nehirleri kirletici yüklerini zaman içerisinde körfeze boşaltmaktadırlar. İZ17 karotunun EF dağılım grafiği Karamürsel Havzasının ilk 7 cm'sinin antropojenik kirlilikten etkilendiği göstermektedir. <sup>14</sup>C yaş verisine göre kirliliğin başlangıç tarihi 1965'dir. Bu tarihten günümüze kadar olan süre içerisinde Karamürsel Havzası Cu ile orta derecede kirletilirken Zn ve Pb ile ciddi derecede kirletilmiştir.

5. Mineralojik analiz sonuçlarına göre, İZ17 karotu %9 mafik, %55 felsik (%44 kuvars ve %11 plajiyoklas), %5 opak minerallerden ve %1 kayalık parçasından oluşmaktadır. Körfezde hakim bileşen olan kuvars mineralleri ve kireçtaşı parçaları nispeten daha iri ve köşeli bir yapıya sahiptir. Bu olgu kaba tanelerin taşınma, erozyon ve dalga işlevleri gibi fiziksel parametrelere kısmen uğradığını ve aniden ve/veya kısa süre içerisinde ortamda depolandığını yansıtmaktadır. İnce kesitlerde gözlenen yüksek orandaki kuvars (%44) körfezin özellikle kumtaşı, şist ve felsik magmatik kayalardan beslendiğini göstermektedir.

6. Gemlik Körfezinin farklı lokasyonlarından sırası ile -38, -38 ve -68 m su derinliklerinden alınan MD22A, MD89A ve MD88 karotları genel olarak çamurdan oluşmaktadır. MD89A ve MD88 karotları tekdüze bir litoloji sergilerken MD22A karotunda kütle akması birimi ayırt edilmiştir. Karotta kırmızı gözlenen bu birim Kocadere Deltası'ndan kaynaklanmaktadır.

7. Kocadere Nehri etkisi altında olan MD22A ve Karsak Deresi'nin etkisinde olan MD89A karotlarında sedimantasyon oranı yüksektir. Bunun aksine nispeten daha durağan bir lokasyonda bulunan MD88 karotunda düşük sedimantasyon gözlenmektedir. Gemlik Körfezi'nden alınan MD22A, MD89A ve MD88 karotlarının çökme hızları sırasıyla 1.7; 1.6 ve 0.8 mm/yıl'dır. MD22A karotu genel olarak karbonatlı bileşenlerden, nispeten mafik minerallerden (piroksen, biyotit) ve az miktarda da volkanik ve metamorfik kayalık parçalarından oluşmaktadır. Karotlardaki mafik çökeller, Mudanya kıyı şeridinde yüzeyleme veren mafik volkanik tüf ve kırıntılardan oluşan Nilüfer biriminden taşınmıştır. Mikroskobik incelemelerde mafik minerallerin çoğunluğunun kloritleşmiş ve serpantinleşmiş halde bulunduğu gözlenmiştir.

8. Gemlik Körfezi karotlarında metal değerleri oldukça değişiklik göstermektedir. Metal background ve ortalama (parantez içinde) değerleri MD22A için Al: 27373,8 (20519), Ni: 81 (141,9), Cr: 92,5 (139,7), Cu: 31,7 (40), Zn: 48,3 (95,2), Pb: 19,4 (37,3), Co: 16,7 (24,4), Hg: 0,07 (0,1), MD89A için Cr: 103,3 (99,1), Co: 22,3 (21,2), Pb: 21,2 (24,8), Cu: 32,8 (37,4),

Zn: 65,6 (71,2), Hg: 0,08 (0,1) Mn: 243 (208,3); MD88 için Al:23958 (23902), Cr: 96,3 (72,8), Mn: 321,6 (236,9), Co: 5,3 (7,2), Cu: 5,9 (8,9), Zn: 35,3 (36,1), As: 8,7 (7,1), Hg: 0,06 (0,08) ve Pb: 19,3 (32,7) mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Nehir girdisine yakın olan MD22A ve nispeten MD89A karotlarında ağır metal zenginleşmesi gözlenirken MD88 karotunda metallerde bir zenginleşme gözlenmemektedir.

9. MD22A karotunun 0-45 cm'sinde Cr, Co, Cu, Pb, Zn, Pb ve Ni yüksek gözlenmekte ve 45 cm'den itibaren metal verileri temel değerlerine ulaşmaktadır. EF verileri Gemlik Körfezi çökellerinin Cu, Co, Cr, Zn ve Ni ile ciddi derecede Pb ile aşırı ciddi derecede kirletildiğini göstermektedir. C-14 yaş verisine göre kirlilik başlangıç tarihi 1788 yılıdır. Kirletici köken bakımından MD22A karot çökelleri aynı kaynaktan beslenmektedir. Kocasu Nehri ağır metal kirlilik kaynağının temelini oluşturmaktadır.

10. Sediment kalite sınıflandırmasına (SQG) göre; İZ30 karot çökelleri Cr, Cu, Zn, As, Pb, Ni ortalama değerleri canlılar üzerinde olumsuz etki oluşturabilecek düzeyde konsantrasyon içermemektedir. İZ17 karotunda ortalama Ni, PEL ve ERM değerleri üzerinde kalırken diğer elementlerin (Cr, Cu, Zn, As, Pb) toksisitesi düşük düzeydedir. Gemlik Körfezi MD22A ve MD89A karotlarında Ni elementi, PEL ve ERM değerinin üzerinde değer almaktadır. Krom ve Cu ortalama değeri ERL-ERM ve TEL-PEL arasında kalmaktadır.

#### **Tez kapsamında ileriki çalışmalar için sunulan öneriler**

1. İzmit ve Gemlik Körfezlerinin sediment kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Fakat sedimentteki toksik etki laboratuvar ortamında canlılar üzerinde araştırılmamıştır. Bu kapsamda canlılar üzerinde özellikle bentik organizmalar için tehlike unsurları detaylı araştırılabilir.
2. İzmit ve Gemlik Körfezlerinden alınan karotlar boyunca inorganik kirleticiler tez kapsamında detaylı çalışılmış ve sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Diğer bir önemli kirletici türü olan organik kirleticiler benzer şekilde körfezlerden alınan karot çökellerinde incelenebilir ve paleokirlilik açısından değerlendirilmesi yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abraham, G.M.S., Parker, R.J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring Assessment*, 136, 227– 238.
- Akal-Solmaz, S.K., Yonar, T., Ekrem, G. (2000). Gemlik Körfezinin karasal kaynaklı kirlilik envanteri. M. Öztürk, M. Kadıgözü, H. Öztürk (eds.), *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bidiriler Kitabı*, TÜDAV, No.5, 513519.
- Aksu, A.E., Piper, D.J.W., Konuk, T. (1987): Late Quaternary tectonic and sedimentation history of Outer İzmir Bay and Çandarlı Basin, Western Turkey. *Marine Geology*, 76, 89-104.
- Aksu, A.E., Hiscott, R.N., Yaşar, D. (1999). Oscillating Quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea-Black Sea drainage corridor. *Mar Geol*, 153, 275-302.
- Aksu, A.E., Hiscott, R.N., Kaminski, M.A., Mudie, P.J., Gillespie, H., Abrajano, T. And Yaşar, D. (2002). Last glacial-Holocene paleoceanography of the Black Sea and Marmara Sea: stable isotopic, foraminiferal and coccolith evidence. *Marine Geology*, 190, 119-149.
- Albut, G. (2014). Gemlik Körfezi Çökellerinde Ağır Metal ve Organik Kirliliğin Zaman İçindeki Evrimi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Algan, O., Altıok, H., Yüce, H. (1999). Seasonal variation of suspended particulate matter in two-layered İzmit Bay, Turkey. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, 235-250.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., Sarı, E. (2004). The sources of metal in the shelf sediments of the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Alpar, B., Yaltırak, C. (2002). Characteristic Features of the North Anatolian Fault in the eastern Marmara Region and its tectonic evolution, *Marine Geology*, 190 (1-2), 329-350.
- Antonowicz, J., Andrzejak, R., Smolik, R. (1990). Influence of heavy metal mixtures on erythrocyte metabolism. *Int Arch Occup Environ Health*, 62 (3), 195-198.
- Apaydın, N., Erseçen, N. (1981). Türkiye'nin Bilinen Maden Yatakları. MTA, Ankara.
- Argos, M., Kalra, T., Rathouz, P.J., Chen, Y., Pierce, B., Parvez, F., Islam, T., Ahmed, A., Rakibuz-Zaman, M., Hasan, R., Sarwar, G., Slavkovich, V., Van Geen, A., Graziano, J., Ahsan, H. (2010). Arsenic exposure from drinking water, and all-cause and chronic-disease mortalities in Bangladesh (HEALS): a prospective cohort study. *Lancet*, 376 (9737), 252-258.
- Arslan-Kaya, T.N., Sarı, E., Kurt, M.A., Acar, D. (2020). Erdek Körfezi karot çökellerinin ağır metal dağılımı ve zenginleşme derecesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63, 57-68.
- Aston, S.R. (1978). Estuarine chemistry. In: J.P. Riley and R. Chester (Ed.), *Chemical Oceanography*, 2nd ed. (s. 361 – 440). New York: Academic Press.
- Atgin, R.S., El-Agha, O., Zararsız, A., Kocataş, A., Parlak, H., Tuncel, G. (2000). Investigation of the sediment pollution in İzmir Bay: trace elements. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 55 (7), 1151-1164.
- Balkıs, N. (2003). The effect of Marmara (İzmit) Earthquake on the chemical oceanography of İzmit Gulf, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 865-878.

- Balkıs, N., Çağatay, M.N. (2001). Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environmental International*, 27 (1), 1-13.
- Baltacı, H., Kındap, T., Ünal, A. (2017). The influence of atmospheric circulation types on regional patterns of precipitation in Marmara (NW Turkey). *Theo App of Clim* 127 (3-4), 563-572.
- Barka, A., Kuşçu, İ. (1996). Extents of the North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma Bays. *Turkish J. Mar. Sci.*, 2, 93-106.
- Bhattacharyya, J.K., Shekdar, A.V. (2003) Treatment and disposal of refinery sludges: Indian scenerio. *Waste Mang Res.*, 21 (3), 249-261.
- Bertine, K.K., Goldberg, E.D. (1977). History of heavy metal pollution in Southern California coastal zone-reprise. *Environmental Science & Technology*, 11 (3), 297-299.
- Beşiktepe, S., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü. (1994). Circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Prog Oceanogr.*, 34, 285-334.
- Blunden, S.J, Hobbs, L.A, Smith, P.J. (1984). The environmental chemistry of organotin compounds. *Environmental Chemistry*, 3, 49-77.
- Boyer, I.J. (1989). Toxicity of dibutyltin, tributyltin and other organotin compounds to humans and to experimental animals. *Toxicology*, 55, 253-298.
- Boyle, E.A., Sclater, F., Edmond, J.M., (1976). On the marine geochemistry of cadmium. *Nature*, 263, 42-44.
- Boyle, E.A, Edmond, J.M., Sholkovitz, E.R. (1977a), The mechanism of iron removal in estuaries. *Geochim. Chosmocim. Acta*, 41, 1313 – 1324.
- Boyle, E.A., Sclater, F.R., Edmond, J.M. (1977b). The distribution of dissolved copper in the Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37, 38 – 55.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 3-30.
- Callender, E. (2003). Heavy metals in the environment-historical trends. B.S. Lollar, H.D. Holland and K.K. Turekian, (Ed.), In *Environmental Geochemistry* (67-105). Oxford, England: Elsevier-Pergamon.
- Calvert, S.E., Pedersen, T.F. (1993). Geochemistry of recent oxic and anoxic sediments: implications for the geological record. *Mar. Geol.*, 113, 67-88.
- Chaillou, G., Schafer, J., Blanc, G., Anschutz, P. (2008). Mobility of Mo, U, As, and Sb within modern turbidites. *Marine Geology*, 254 (3), 171-179.
- Chappell, J., Shackleton, N.J. (1986). Oxygen isotopes and sea level. *Nature*, 324, 137-140.
- Chin-Chan, M., Navarro-Yepes, J., Quintanilla-Vega, B. (2015). Environmental pollutants as risk factors for neurodegenerative disorders: Alzheimer and Parkinson diseases. *Front Cell Neurosci*, 9, 124.
- Clarkson, T.W. (1997). The Toxicology of Mercury. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 34 (4), 369-403.
- Covelli, S., Fontolan, G. (1997). Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*, 30 (1-2), 34-45.
- Croudace, W., Rindby, A., Rothwell, R.G. (2006). ITRAX: description and evaluation of a new multi-function X-ray core scanner, in: R.G. Rothwell, (Ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*, Special Publication, Geological Society, London, 267, 51-63.
- Crowe, W., Allsopp, P.J., Watson, G.E., Magee, P.J., Strain, J.J., Armstrong, D.J., Ball, E., McSorley, E.M. (2017). Mercury as an environmental stimulus in the development of autoimmunity – a systematic review. *Autoimmun Rev.*, 16 (1), 72-80.

- Çağatay, M.N., Algan, O., Balkis, N., Balkis, M. (1996). Distribution of carbonate and organic carbon contents in late Quaternary sediments of the southern Marmara shelf, Turkish Journal of Marine Sciences, 2, 67-83.
- Çağatay, M.N., Görür, N., Algan, O., Eastoe, C., Tchapyalga, A., Ongan, D., Kuhn, T. And Kuşcu, D. (2000). Late Glacial-Holocene palaeoceanography of the Sea of Marmara: timing of connections with the Mediterranean and Black seas. Marine Geology, 167, 191-206.
- Çağatay, M.N., Görür, N., Polonia, A., Demirbağ, E., Sakınç, M., Cormier, M.H., Capotondi, L., McHugh, C., Emre, Ö., Eriş, K.K. (2003). Sea-level changes and depositional environments in the İzmit Gulf, eastern Marmara Sea, during the late glacial-Holocene period. Marine Geology, 202 (3-4), 159-173.
- Çağatay, M.N., Özcan, M., Güngör, E. (2004). Pore-water and sediment geochemistry in the Marmara Sea (Turkey); early diagenesis and diffusive fluxes. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 4 (3), 213-225.
- Çağatay, M.N., Balkis, N., Sancar, Ü., Çakir, Z., Yücesoy, F., Eryilmaz, M., Sari, E., Erel, L., Akçer, S., Biltekin, D. (2006). Marmara Denizi Çökel Jeokimyası Atlası, Tübitak 103Y053 nolu proje raporu, İstanbul.
- Çağatay, M.N., Erel, L., Bellucci, L.G., Polonia, A., Gasperini, L., Eriş, K.K., Damcı, E. (2012). Sedimentary earthquake records in the İzmit Gulf, Sea of Marmara, Turkey. Sedimentary Geology, 282, 347-359.
- Das, K.K., Gupta, A.D., Dhundasi, S.A., Patil, A.M., Das, S.N., Ambekar, J.G. (2006). Effect of L-ascorbic acid on nickel-induced alterations in serum lipid profiles and liver histopathology in rats. J Basic Clin Physiol Pharmacol, 17 (1), 29-44.
- Daskalakis, K.D., O'connor, T.P. (1995). Normalization and elemental sediment contamination in the coastal United States. Environmental Science & Technology, 29 (2), 470-477.
- Diagomanolin, V., Farhang, M., Ghazi-Khansari, M., Jafarzadeh, N. (2004). Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the Karoon waterway river, Iran. Toxicol Lett. 151 (1), 63-68.
- Duker, A.A., Carranza, E.J.M., Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. Environm. Internat., 31, 631-641.
- Ergin, M., Yörük, R. (1990). Distribution and texture of the bottom sediments in a semi-closed coastal inlet, the İzmit Bay from the eastern sea of Marmara (Turkey). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 30, 647-654.
- EİE. (1993). Türkiye akarsularında sediment gözlemleri ve sediment taşınım miktarları. Elektrik işleri etüd idaresi Gen Müd, Ankara, 59-93.
- Erel, L. (1992). Marmara Deniz çevresinde 1950 - 1990 yılları arasında şehirleşme, Türk Coğrafya Dergisi, 27, 85-104.
- Erel, L. (1997). Trakya'da kırsal ve kıyı yerleşmelerinin nüfus özellikleri, Türk Coğrafya Dergisi, 32, 35-53.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, V. ve Okyar, M. (1991). Marmara Denizi'nin Kuzeydoğu ve Güneybatı kıta sahanlıkları ile Çanakkale ve İstanbul boğazlarındaki dip çökellerinin dağılımı, 6. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Ankara, 26-32.
- Ergin, M., Bodur, M.N., Ediger, D., Ediger, V., Yılmaz, A. (1993). Organic carbon distribution in the surface sediments of the Sea of Marmara and its control by the inflows from adjacent water masses, Mar. Chem., 41, 311-326.

- Ergin, M., Bodur, M.N. (1999). Silt/clay fraction in surficial Marmara sediments: implication for water movement and sediment transport paths in a semi-enclosed and two-layered flow system (Northeastern Mediterranean Sea). *Geo-Marine Letters*, 18, 225-233.
- Eriş, K.K., Sabuncu, A., Gasperini, L., Polonia, A., Kindap, T. (2019). Influence of climate on the late Pleistocene depositional history of the Gulf of Gemlik (Sea of Marmara). *Geo-Marine Letters*, 39, 205-221.
- Fairbanks, R.G. (1989). A 17000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.
- Filikçi, B., Eriş, K.K., Çağatay, N., Sabuncu, A., Polonia, A. (2017). Late glacial tı Holocene water level and climate changes in the Gulf of Gemlik, Sea of Marmara: evidence from multi-proxy data. *Geo-Marine Letters*, 37, 501-513.
- Friberg, L., Nordberg, G.F., Vouk, V. (1979). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Amsterdam, Hollanda: Elsevier.
- Fu, Z., Xi, S. (2020). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 30 (3), 167-176.
- Galehouse, J.S. (1971). *Sedimentation Analysis*. R.E. Carver, (Ed), *Procedures in Sedimentary Petrology* (69-94). New York, United States: Wiley Interscience.
- Gasperini, L., Polonia, A., Çağatay, M.N., Bortoluzzi, G., Ferrante, V. (2011). Geological slip rates along the North Anatolian Fault in the Marmara region, *Tectonics*, 30, TC6001, 1-14.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Tonner, L., Folger, D.W. (1974). An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J Sediment Petrol*, 44, 249-253.
- Gbadebo, A.M., Bankole, O.D. (2007). Analysis of potentially toxic metals in airborne cement dust around Sagamu, Southwestern Nigeria. *J Appl Sci.*, 7 (1), 35-40.
- Godwin, H.A. (2001). The biological chemistry of lead. *Curr Opin Chem Biol.*, 5 (2), 223-227.
- Gomez-Ariza, J.L., Giraldez, I., Morales, E. (2001). Occurrence of organotin compounds in water, sediments and mollusca in estuarine systems in the southwest of Spain. *Water Air Soil Pollut.*, 126, 253-279.
- Görür, N., Cagatay, M.N., Sakınç, M., Sümengen, M., Sentürk, K., Yaltırak, C., Tchapylyga, A. (1997). Origin of the Sea of Marmara as deduced from Neogene to Quaternary paleogeographic evolution of its frame. *International Geology Review*, 39 (4), 342-352.
- Groth, D.H., Stettler, L.E., Burg, J.R., Busey, W.M., Grant, G.C., Wong, L. (1986). Carcinogenic effects of antimony trioxide and antimony ore concentrate in rats. *J. Toxicol. Environ. Health*, 18, 607-626.
- Haber, L.T., Erdreicht, L., Diamond, G.L., Maier, A.M., Ratney, R., Zhao, Q., Dourson, M.L. (2000). Hazard identification and dose response of inhaled nickel-soluble salts. *Regul Toxicol Pharmacol.*, 31 (2), 210-230.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14 (8), 975-1001.
- Hanson, A. L., Bajt, S., Johnson, B.M., Meron, M., Rivers, M.L. (1993). Below edge X-ray emission structure. *Physics Letters A*, 184 (1), 143-147.

- Herut, B., Sandler, A. (2006). Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean. New York, UNEP/MAP, 23.
- Hughes, M.F., Beck, B.D., Chen, Y., Lewis, A.S., Thomas, D.J. (2011). Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci.*, 123 (2), 305-332.
- Huggett, D.D., Steevens, J.A., Allgood, J.C., Lutken, C.B., Grace, C.A., Benson, W.H. (2001). Mercury in sediment and fish from North Mississippi Lakes. *Chemosphere*, 42 (8), 923-929.
- Islam, Md.S., Hossain, M.B., Matin, A., Islam-Sarker, Md.S. (2018). Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*, 202, 25-32.
- Jenkins, R., De Vries, J.L. (1969). *Physics of X-Rays. Practical X-ray Spectrometry (1-25)*. New York, United States: Macmillan.
- Kapur, S., Aykurt, D., Akça, E., Ergin, M., Azadoğlu, S., Kelling, G., Yücesoy-Eryılmaz, F., Eryılmaz, M., Keskin, Ş., Varol, B. (1999). Marmara Denizi Geç Kuvaterner çökeltme ortamlarının incelenmesi: izotopik, biyojeokimyasal, ağır metal, organik, mineralojik ve tarihlendirme çalışmaları, Tübitak 197Y053 nolu proje raporu, ADANA.
- Karbassi, A., Saeedi, M., Amirnejad, R. (2008). Historical changes of heavy metals content in a sediment core from the Gorgan Bay, Southeastern Caspian Sea. *Indian Journal of Marine Sciences*, 37, 3, 267-272.
- Kaminski, M.A., Aksu, A., Box, M., Hiscott, R.N., Filipescu, S. And Alsalameen, M. (2002). Late glacial to Holocene benthic foraminifera in the Marmara Sea: implications for Black Sea-Mediterranean Sea connections following the last deglaciation. *Marine Geology*, 190, 165-202.
- Kazancı, N., Leroy, S., İleri, Ö., Emre, Ö., Kibar, M., Öncel, S. (2004). Late Holocene erosion in NW Anatolia from sediments of Lake Manyas, Lake Ulubat and the southern shelf of the Marmara Sea, Turkey. *Catena*, 57, 277-308.
- Kennish, M.J. (2002). Environmental Threats and Environmental Future of Estuaries. *Environmental Conservation*, 29, 78-107.
- Kılıç, Ö., Çotuk, Y. (2011). Radioactivity concentrations in sediment and mussel of Bosphorus and Golden Horn. *J. Radional Nucl Chem*, 289, 627-635.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Gözel, F., Carvalho, F.P. (2014). Radioactivity levels in mussels and sediments of the Golden Horn by the Bosphorus Strait, Marmara Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 86 (1-2), 555-561.
- Kılıç, Ö., Belivermiş, M., Sezer, N., Kalaycı, G. (2018). Delineation of radionuclide bioaccumulation in golden horn, Istanbul, using bioindicator mussel passive monitoring and transplantation. *Nuclear technology and radiation protection*, 33 (1), 125-132.
- Kırcı-Elmas, E. (2006). Marmara Denizi Geç Kuvaterner Foraminifer Topluluğu ve Paleoşinografik Değerlendirmesi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeclığı Enstitüsü, İstanbul.
- Klinkhammer, G.P., Bender, M.L. (1980). *Earth and Planetary Science Letters*, 46 (3), 361-384.
- Kocaeli Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü faaliyet raporu (2018). Erişim adresi: [https://kocaeli.tarimorman.gov.tr/Belgeler/pdf\\_dosyalar\\_/2018%20YILI%20FAAL%C4%B0YET%20RAPORU.pdf](https://kocaeli.tarimorman.gov.tr/Belgeler/pdf_dosyalar_/2018%20YILI%20FAAL%C4%B0YET%20RAPORU.pdf).

- Kocaeli Valiliği İzmit Körfezi Liman Bölgesi Raporu (2011). Erişim adresi: <http://www.marka.org.tr/Uploads/Files/%C4%B0zmit%20K%C3%B6rfezi%20Liman%20B%C3%B6lgesi%20Raporu.pdf>.
- Krauskopf, K.B. (1979). Distribution of the elements. K.B. Krauskopf, K.O. Emery, R.F. Legget, B. Murray, L. Sloss, (Ed.), Introduction to Geochemistry, 2.nd edition (464-487). New York, USA: McGraw-Hill International Series in the Earth and Planetary Sciences.
- Krishnamurthy, S., Wilkens, M.M. (1994). Environmental chemistry of chromium. *Northeastern Geol.*, 16, 14-17.
- Kwon, Y.T., Lee, C.W. (1998). Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area. *Sci. Total Environ.*, 214, 203-210.
- Lenczewski, E. (2009). Arsenic pollution: a global synthesis. *Choice Curr Rev Acad Libr.*, 47, 326-326.
- Li, L., Tian, X., Yu, X., Dong, S. (2016). Effects of acute and chronic heavy metal (Cu, Cd, and Zn) exposure on sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*). *Biomed Res Int.*, 4532697.
- Liaw, J., Marshall, G., Yuan, Y., Ferreccio, C., Steinmaus, C., Smith, A.H. (2008). Increased childhood liver cancer mortality and arsenic in drinking water in northern Chile. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.*, 17 (8), 1982-1987.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19, 81-97.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews.*, 32, 235-283.
- MacDonald, D.D., Carr, S., Clader, F.D., Long, E.D., Ingersoll, C.G. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5, 253-278.
- MacDonald, D.D., Lindscoog, R.A., Smorong, D.E., Greening, H., Pribble, R., Janicki, T., Janicki, S., Grabe, S., Sloane, G., Ingersoll, C.G., Eckenrode, S., Long, E.R. (2000). Development of an ecosystem-based framework for assessing and managing sediment quality conditions in Tampa Bay, Florida. Tampa Bay Estuary Program, Florida, USA.
- Marshall, G., Ferreccio, C., Yuan, Y., Bates, M.N., Steinmaus, C., Selvin, S., Liaw, J., Smith, A.H. (2007). Fifty-year study of lung and bladder cancer mortality in Chile related to Arsenic in drinking water. *J Natl Cancer Inst.*, 99 (12), 920-928.
- Mater, B., Gürpınar, E. (1992). Marmara Bölgesinde kara kaynaklı deşarjların dağılım ve kullanılabilir deniz alanları. Marmara Belediyeler Birliği ve Fatih Rotary Kulübü, Türkiye.
- Matthews, K.M., Kim, C.K., Martin, P. (2007). Determination of <sup>210</sup>Po in environmental materials: A review of analytical methodology, *Appl. Radiat. Isot.*, 65, 267-279.
- McHugh, C.M.G., Seeber, L., Cormier, M.H., Dutton, J., Çağatay, N., Polonia, A., Ryan, W.B.F., Görür, N. (2006). Submarine earthquake geology along the North Anatolia Fault in the Marmara Sea, Turkey: A model for transform basin sedimentation. *Earth and Planetary Science Letters*, 248 (3-4), 661-685.
- McKenzie, D. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 30, 109-185.

- McKenzie, D. (1978). Active tectonics of the Alpine – Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55 (1), 217-254.
- Mcmanus, J. (1991). Grain Size Determination and Interpretation. M.E. Turker, (Ed.), *Techniques In Sedimentology* (63-85). Oxford, England: Blackwell.
- Mee, L.D. (1992). The Black Sea in crisis: The need for concerted international action. *Ambio*, 21, 278-286.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., Aksu, A. (2012). Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological&Environmental Chemistry*, 94 (1), 56-59.
- National Reserch Council (1999). *Arsenic in Drinking Water*. National Academy Press, Washington, DC.
- Nguyen, B.T., Do, D.D., Nguyen, T.X., Nguyen, V.N., Nguyen, D.T.P., Nguyen, M.H., Truong, H.T.T., Dong, H.P., Le, A.H., Bach, Q. (2020). Seasonal, spatial variation, and pollution sources of heavy metals in the sediment of the Saigon River, Vietnam. *Environmental Pollution*, 256, 113412.
- Nriagu, J.O. (1980). Global cadmium cycle. In *cadmium in the environment part 1: Ecological cycling* (ed. J.O. Nriagu), Wiley, New York, 1-12.
- Nriagu, J.O. (1980b). Global cycle and properties of nickel. In *Nickel in the Environm ent* (ed. J. O. Nriagu), Wiley, New York, 1- 26.
- Ognjanovic, B.I., Markovic, S.D., Ethordevic, N.Z., Trbojevic, I.S., Stajn, A.S., Saicic, Z.S. (2010). Cadmium-induced lipid peroxidation and changes in antioxidant defense system in the rat testes: protective role of coenzyme Q(10) and vitamin E. *Reprod Toxicol.*, 29, 191–197.
- Oğuz, T., Tuğrul, S., Kideys, A.E., Ediger, V., Kubilay, N. (2004). Physical and biogeochemical characteristics of the Black Sea, Allan R. Robinson, Kenneth H. Brink (Ed.), *The Sea*, 14, 1331-1369.
- Okay, A.İ., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. ve Akyüz, S. (1996). Paleo- and Neo- Tethyan events in northwestern Turkey: Geologic and geochronologic constraints: In: Yin, A. ve Harrison, M. (eds) *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, 420-441.
- Okay, A.İ., Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B et al (ed.) *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the alpine orogen*. 156, 475-515, London, England: Geological Society.
- Okay, O.S., Pekey, H., Morkoç, E., Başak, S., Baykal, B. (2008). Metals in the surface sediments of Istanbul Strait (Turkey). *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 43 (14), 1725-1734.
- Örnek, V. (2013) *Sürmene Koyu Yüzey Sedimentlerinde Ağır Metal Birikimlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon*.
- Pacyna, J.M. (1996). Monitoring and assessment of metal contaminants in the air. L.W. Cheng, (Ed.), *Toxicology of Metals* (9-28). London, England: CRC Lewis Publishers.
- Patocka, J., Cerny, K. (2003). Inorganic lead toxicology. *Acta Medica (Hradec Kralove)*. 46 (2), 65-72.
- Pehlivan, H. (2017). *Marmara Denizi Güneyi (Kocasu Deltası) Sedimentlerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması*. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., Bakoğlu, M. (2004). Ecological risk assesment using trace elements from surface sediments of Izmit Gulf (Northeastern Marmara Sea) Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946 – 953.
- Pekey, H. (2006). The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollution Bulletin*, 52 (10), 1197-1208.
- Plant, J.A., Kinniburgh, D.G., Smedley, P.L., Fordyce, F.M., and Klinck, B.A. (2003). Arsenic and selenium, In *Environmental Geochemistry* (ed. B.S.Lollar) *Treatise on Geochemistry* (eds. H.D. Holland and K.K. Turekian), Elsevier-Pergamon, Oxford, 9 17-66.
- Polat, Ç., Tuğrul, S., (1995). Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara. *Wat. Sci. Tech.* 2, 115-121.
- Qayyum, S., Ara, A., Usmani, J.A. (2012). Effect of nickel and chromium exposure on buccal cells of electroplaters. *Toxicol Ind Health*, 28 (1), 74–82.
- Rahman, M. (2002). Arsenic and contamination of drinking-water in Bangladesh: a public-health perspective. *J Health Popul Nutr.* 20 (3), 193-197.
- Rahman, S, Sultana, S. (2006). Chemopreventive activity of glycyrrhizin on lead acetate mediated hepatic oxidative stress and its hyperproliferative activity in Wistar rats. *Chem Biol Interact.*, 160 (1), 61–69.
- Raiswell R., Berner R.A. (1985) Pyrite formation in euxinic and semicuxinic sediments *Amer. J. Sci.* 285, 7 10-724.
- Reimann, C. ve Caritat, P. (1998). *Chemical Elements in the Environment— Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*. Springer– Verlag, Berlin. 398.
- Reimer, PJ, Brown, TA, Reimer, RW. (2004). Discussion: reporting and calibration of post-bomb  $^{14}\text{C}$  data. *Radiocarbon* 46 (3), 1299–304.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press. London, 657.
- Ryan, W.B.F., Pitman, W.C., Major, C.O., Shimkus, K., Moskalenko, V., Jones, G.A., Dimitrov, P., Görür, N., Sakiñç, M. And Yüce, H. (1997). An abrupt drowning of the Black Sea shelf. *Marine Geology*, 138, 119-126.
- Sarı, E., (2008). Sources and distribution of heavy metals in river sediments from the Southern Drainage basin of the Sea of Marmara, Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (12a), 2007-2019.
- Sarı, E., Ünlü, S., Balcı, N., Apak, R., Kurt, M.A., Koldemir, B. (2013). Evaluation of contamination by selected elements in a Turkish Port. *Polish journal of environmental studies*, 22, 841-847.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., Acar, D., Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Arslan, T.N., Tutay, A., Kurt, M.A., Sezer, N. (2018). Geochronology and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. *Chemosphere*, 205, 387-395.
- Sarı, E., Gümüş, U., Çağatay, M.N., Kurt, M.A., Kılıç, Ö., Arslan-Kaya, T.N. (2020). Distribution and environmental risk evaluation of Metals in sediment cores Marmara Ereğlisi Shelf, Marmara Sea, Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 261-273.
- Saher, N.U., Sissiqui, A.S. (2016). Comparison of heavy metal contamination during the last decade along the coastal sediment of Pakistan: Multiple pollution indices approach. *Marine Pollution Bulletin*, 105 (1), 403-410.

- Schropp, S.J., Lewis, F.G., Windom, H.L., Ryan, J.D., Calder, F D., Burney, L.C. (1990). Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, 13 (3), 227-235.
- Seshan, B.R.R., Natesan, U., Deepthi, K. (2010). Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(2), 291-306.
- Siegel, D.I. (1992). Mechanisms controlling the production and transport of methane, carbon dioxide, and dissolved solutes within a boreal peatland. Progress report, January 15, 1991--July 14, 1992 (No. DOE/ER/61013--2). Syracuse Univ., NY (United States).
- Siani, G., Paterne, M., Arnold, M., Bard, E., Métivier, B., Tisnerat, N., Bassinot, F. (2000). Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea Radiocarbon, 42, 271-280.
- Smith, A.D., Taymaz, T., Oktay, F., Yüce, H., Alpar, B., Başaran, H., Jackson, J.A., Kara, S., Şimşek, M. (1995). High resolution seismic profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): late quaternary sedimentation and sea-level changes. *GSA Bull*, 107, 923-936.
- Smith, A., Lopipero, P., Bates, M., Steinmaus, C. (2002). Arsenic epidemiology and drinking water standards. *Science*, 296, 2145-2146.
- Smith, A.H., Marshall, G., Yuan, Y., Ferreccio, C., Liaw, J., von Ehrenstein, O., Steinmaus, C., Bates, M.N., Selvin, S. (2006). Increased mortality from lung cancer and bronchiectasis in young adults after exposure to arsenic in utero and in early childhood. *Environ Health Perspect*, 114 (8), 1293-1296.
- Spencer, D.W., Brewer, P.G. (1971). Vertical advection diffusion and redox potentials as controls on the distribution of manganese and other trace metals dissolved in waters of the Black Sea. *Journal of Geophysical Research*, 76 (24), 1896-1977.
- Sperling, M., Schmiedl, G., Hemleben, Ch., Emeis, K.C., Erlenkeuser, H. And Grootes, P.M. (2003). Black Sea impact on the formation of eastern Mediterranean 196 sapropel S1? Evidence from the Marmara Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 190, 9-21.
- Stanley, D.J., Blanpied, C. (1980). Late Quaternary water exchange between the eastern Mediterranean and the Black Sea. *Nature*, 266, 537-541.
- Sunda, W.G. (1991). Trace metal interaction with marine phytoplankton. *Biol. Oceanogr.*, 6, 411-442.
- Sutherland, R.A. (2000). A comparison of geochemical information obtained from two fluvial bed sediment fractions. *Environmental Geology*, 39 (3-4), 330-341.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip, faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In Biddle, K.T., Christie – Blick, (Ed.), *Strike – slip faulting and basin formation*, Society of Econ. Paleont. Min. Spec. Pub., 37.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., Caner, İ., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C. (2005). The north anatolian fault: new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Tan, J. (1989). *The Atlas of Epidemic Diseases and Their Environments in the People's Republic of China*. Science Press, Beijing.
- Tan, İ., Aslan, E. (2020). Metal Pollution status and ecological risk assessment in marine sediments of the inner Izmit Bay. *Regional studies in marine science*, 33, 100850.

- Taşkın, Ö.S., Aksu, A., Balkıs, N. (2011). Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine pollution bulletin*, 62 (11), 2568-2570.
- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical journal international*, 106 (2), 433-490.
- Telli-Karakoç, F., Tolun, L., Henkelmann, B., Klimm, C., Okay, O., Schramm, K.W. (2002). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) distributions in the Bay of Marmara Sea: Izmit Bay. *Environmental Pollution*, 119 (3), 383-397.
- Thomson, J., Croudace, I.W., Rothwell, R.G. (2006). A geochemical application of the ITRAX scanner to a sediment core containing eastern Mediterranean sapropel units, in: R.G. Rothwell (Ed.), *New Techniques in Sediment Core Analysis*, Special Publication, Geological Society, London, 267, 65-77.
- Tolun, L., Okay, O.S., Gaines, A.F., Tolay, M., Tüfekçi, H., Kıratlı, N. (2001). The pollution status and toxicity of surface sediments in Izmit Gulf (Marmara Sea), Turkey, *Environ. Intern.*, 26, 163 – 168.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., Jeffney, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgol. Wiss. Meeresunters*, 33, 566-572.
- Tonietto, G.B., Godoy, J.M., Oliveira, A.C. de Souza, M.V. (2010). Simultaneous speciation of Arsenic (As (III), MMA, DMA, and As (V)) and Selenium (Se(IV), Se(VI), and SeCN-) in petroleum refinery aqueous streams. *Anal Bioanal Chem.*, 397 (5), 1755-1761.
- Topçuoğlu, S., Güven, K.C., Balkıs, N., Kırbaçoğlu, Ç. (2003). Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea. *Chemosphere*, 52, 1683-1688.
- Usepa (United States Environmental Protection Agency) (1977b). Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories: Volume II, risk assessment and fish consumption limits. EPA 823-B-97-009.
- Usepa (United States Environmental Protection Agency) (2000a). National air pollutant emission trends, 1900-1998. EPA 454/R-00-002, US Govt. printing office.
- Usepa (United States Environmental Protection Agency) (2000b). Deposition of air pollutants to the great waters. EPA 453/R-00-005, US Govt. printing office.
- Ünal, Y., Kındap, T., Karaca, M. (2003). Redefining climate zones for Turkey using cluster analysis. *Int J Clim*, 23, 1045-1055.
- Ünlü, S., Alpar, B. (2006). Distribution and sources of hydrocarbons in surface sediments of Gemlik Bay (Marmara Sea, Turkey). *Chem* 64, 764-777.
- Ünlü, S., Topçuoğlu, S., Alpar, B., Kırbaçoğlu, C., Yılmaz, Y.Z. (2008). Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environ. Monit. Assess.*, 144 (1-3), 169-178.
- Ünlü, S., Alpar, B. (2009). Evolution of potential ecological impacts of the bottom sediment from the Gulf of Gemlik; Marmara Sea, Turkey, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 83, 903-906.
- Wall, D., Dale, B. (1974): Dinoflagellates in the Late Quaternary deep-water sediments of the Black Sea. Degens, E.T., Ross, D.A. (Ed), *The Black Sea-Geology, Chemistry and Biology*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A, Memoir, 20, 364-380.

- Wan, D., Song, L., Mao, X., Yang, J., Jin, Z., Yang, H. (2019). One-century sediment records of heavy metal pollution on the southeast Mongolian Plateau: Implications for air pollution trend in China. *Chemosphere*, 220, 539-545.
- Wei, H.J., Luo, X.M., Yang, S.P. (1985). Effects of molybdenum and tungsten on mammary carcinogenesis in SD rats. *J. Natl Cancer Inst.*, T74T, 469– 473.
- Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, D.J., Smith, R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G., Rawlinson, C.H. (1989). Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the southeastern United State, *Environmental Science Technology*, 23, 314-320.
- van Andel, T.H., Lianos, N. (1984). High-resolution seismic reflection profiles for the reconstruction of postglacial transgressive shorelines: An example from Greece. *Quaternary Research*, 22, 31-45.
- Yaltırak, C. (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, 190 (1-2), 493-529.
- Yaltırak, C., Alpar, B. (2002). Kinematics and evolution of the northern branch of the North Anatolian Fault (Ganos Fault) between the Sea of Marmara and the Gulf of Saros. *Marine Geology*, 190 (1-2), 351-366.
- Yaşar, D., Aksu, A.E., Uslu, O. (2001) Anthropogenic pollution in Izmit Gulf: heavy metal concentrations in surface sediments, *Turkish Journal Of English Environmental Sciece*, 25, 299 – 313.
- Yuan, Y., Marshall, G., Ferreccio, C., Steinmaus, C., Liaw, J., Bates, M., Smith, A.H. (2010). Kidney cancer mortality: fifty-year latency patterns related to arsenic exposure. *Epidemiology*, 21(1) 103-108.
- Yu, H.S., Liao, W.T., Chai, C.Y. (2006). Arsenik carcinogenesis in the skin. *J. Biomed Sci.*, 13 (5), 657-666.
- Zillioux, E.J., Porcella, D.B., Benoit, J.M. (1993). Mercury cycling and effects in freshwater wetland ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 2245-2264.

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi : (01/05/1990)  
Doğum yeri : Elazığ  
Lise: : (2004-2008), Özel Safiye Sultan Anadolu lisesi  
Lisans : (2008-2012), Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji  
Mühendisliği  
Yüksek Lisans : (2012-2014), Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji  
Mühendisliği  
Doktora : (2014-2020), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği  
Enstitüsü  
Bilimsel etkinlikleri :

## DERGILERDE YAYIMLANAN MAKALELER

Avcıoğlu A., Bayrakdar C. , Sarı E. , Arslan-Kaya T. N. (2020). TanDEM-X12m Sayısal Yükselti Verisine Dayalı Toprak Erozyonu Tespiti (Rusle). JOURNAL OF GEOGRAPHY, 93-107.

Arslan-Kaya, T.N., Sarı, E., Kurt, M.A., Acar, D. (2020). Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Zenginleşme Derecesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 63, 57-68.

Sarı, E., Gümüş, U., Çağatay, M. N. , Kurt, M. A. , Kılıç, Ö. , Arslan Kaya, T. N. (2020). Distribution and Environmental Risk Evaluation of Metals in Sediment Cores from Marmara Ereğlisi Shelf, Marmara Sea, Turkey. Arabian Journal For Science And Engineering, 45 (1), 261-273.

Belivermiş, M., Kılıç, O. , Efe, E., Sezer, N., Gönülal, O., Arslan-Kaya T. N. (2019). Mercury and Po-210 in mollusc species in the island of Gokceada in the north-eastern Aegean Sea: Bioaccumulation and risk assessment for human consumers. Chemosphere, 235, 876-884.

Sarı, E., Cagatay M.N., Acar D., Belivermis M., Kilic Ö., Arslan T.N., Sezer, N. (2018). Geochronolgy and sources of heavy metal pollution in sediments of Istanbul Strait (Bosporus) outlet area, SW Black Sea, Turkey. Chemosphere, 205, 387-395.

Eriş, K.K., Akçer-Ön, S., Çağatay, N.M., Ülgen, U.B., Ön, Z.B., Gürocak, Z., Arslan, T.N., Bal-Akkıca, D., Damcı, E., İnceöz, M., Öztekin-Okan, Ö. (2018). Late Pleistocene to Holocene Paleoenvironmental evolution of Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey. Quaternary International, 486, 4-16.

Eriş, K.K., Arslan, T.N., Sabuncu, A. (2018). Influences of Climate and Tectonic on the Middle to Late Holocene Deltaic Sedimentation in Lake Hazar, Eastern Turkey. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 3685-3697.

ULUSAL HAKEMLİ KONGRE/ SEMPOZYUMLARIN BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

Arslan Kaya T.N., Sarı E., Kurt M.A., Acar D., Erdek Körfezi Karot Çökellerinin Ağır Metal Dağılımı ve Kirlilik Derecesi, 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 28 Ocak-1 Şubat 2019, 327-328.

Acar D., Sarı E., Çağatay N., Kılıç Ö., Belivermiş M., Arslan Kaya T.N., et al., A comprasion of Danube Rivers water and sediment discharges with elemental data from a sediment core in İstanbul straits outlet area of Black Sea, International Earth Science Colloquium on the Aegean Region IESCA 2019, İzmir, Türkiye, 7-11 Ekim 2019, 1-1.

Sarı E., Arslan Kaya T.N., Kösesakal T., Kurt M.A., Kılıç Ö., Assessment of Cu, Cr, Pb anda Zn contamination in the core sediment from İzmit Gulf, Turkey, The 11th International Symposium on Environmental Geochemistry, Beijin, Çin Halk Cum., 7 -10 Ağustos 2019, 1-1

Sari E., Tolun L., Yüksek A., Başeğmez K., Aslan E., Arslan T.N. , Sedimentary Record Of Anthropogenic Metal Inputs In The Tuzla Shipyard (Turkey) , 18th International Conference on Heavy Metals in the Environment , Ghent, BELÇİKA, 12-15 Eylül 2016, 771-772

Acar D., Alpar Ş.B., Çağatay N., Özeren S., Sari E., Eriş K., Vardar D., Arslan T., Basegmez K., Preliminary Results Of Hydrodynamic Responses To Ship Movements And Weather Conditions Along The Coastal Walls Of ShallowAreas, European Geosciences Union, Viyana, AVUSTURYA, 17-22 Nisan 2016, 15044-15044

Acar D., Çağatay N., Feray Meydan A., Eriş K., Sari E., Akçer S., Makaroglu O., Alkislar H., Biltekin D., ArslanT.N., Detecting to secret folded composite lamina package pairs in coresrelated slump dump structures and seismites with high resolution sampling of physicalparameters, European Geosciences Union, Viyana, Avusturya, 17-22 Nisan 2016, 17601-17601

Acar D., Çağatay N., Sari E., Eriş K., Biltekin D. , Akçer S., Gokdere F.M., Makaroglu O., Bulkan O., Arslan T., Albut G., Yalamaz B., Yakupoglu N., Sabuncu A., Fillikci B., Yıldız G., High Resolution MeasurementsIn U-Channel Technique And Implications For Sedimentological Purposes, European Geosciences Union, Viyana, Avusturya, 17-22 Nisan 2016, 17325-17325

Arslan T.N., Eriş K.K., Çağatay N., Ön S., Biltekin D., Sancar Ü., Acar D., Climatic Changes of Late Pleistocene-Holocene Sedimentary Records in Lake Hazar, Eastern Anatolia, Turkey: Sedimentological and Geochemical Parameters Evidences, 2015 The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium.

Acar D., Çağatay N., Biltekin D., Eriş K., Albut G., Öğretmen N., Arslan T., Sari E., Doppler Scanning Of Sediment Cores: A Useful Method For Studying Sedimentary Structures And Defining The Cutting Angle For Half Cores, EGU General Assembly 2014, Viyana, Avusturya, 28 Nisan - 2 Mayıs 2014, 15357-1-15357-1

Sari E., Acar D., Çağatay M.N., Arslan T.N., Kiliç Ö., Tutay A., et al., Güneybatı Karadeniz Karot Sedimentlerinin Ağır Metal kirliliğine Tarihsel Bir Yaklaşım, Uluslararası Katılımlı 7. Jeokimya Sempozyumu, Antalya, Türkiye, 16-18 Mayıs 2016, 102-103

Acar D., Alpar Ş.B., Sari E., Vardar D., Arslan T.N., Başeğmez K., Sığ Deniz Göl ve Kanal Kıyılarındaki, Gemi Hareketi yada iklim Etkileşimli Hidrolojik Özelliklerin Kıyı Duvarlarının Açılımlarına Bağlı Olarak Değişimi, 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 11-15 Nisan 2016, 420-421.

Sari E., Tolun L., Yüksek A., Başeğmez K., Aslan E., Arslan T.N., Tuzla Tersanesi Karot Sedimentlerinde Metal Dağılımı, İstanbul Türkiye, 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Türkiye, 11-15 Nisan 2016, 66-67.

Arslan T.N., Eriş K.K., Çağatay N., Ön S., Biltekin D., Sancar Ü., Acar D. Geç Pleyistosen-Holosen Hazar Gölü'nün (Doğu Anadolu, Türkiye) İklim Değişiklikleri: Yüksek Çözünürlü Sismik Ve Karot Çalışmaları, II. Kıyı ve Deniz Jeolojisi Sempozyumu 2015.

Acar D., Alpar B., Sarı E., Çağatay N., Eriş K.K., Vardar D., Arslan T. N., Elbek Ş. Sığ kıyı alanları ve sınırlı kanallardaki Squat etkisi, seyir ve çevreye olan olası tehditleri, II. Kıyı ve Deniz Jeolojisi Sempozyumu, 2015.

Sarı E., Acar D., Çağatay N., Arslan T. N., Kılıç Ö., Tutay A., Kurt M. A., Belivermiş M., Karadeniz'in Güney Batısından Alınan Sediment Karotlarında Ağır Metal Kayıtları ve Kirlilik Derecesi, II. Kıyı ve Deniz Jeolojisi Sempozyumu, 2015.

Arslan T.N., Eriş K.K., Çağatay N., Ön S., Akkoca D., Gürocak Z., Okan Ö., İnceöz M., Sancar Ü., Acar D. Hazar Gölü'nün (Doğu Anadolu, Türkiye) Holosen Delta İstifleri: Sismik ve Karot Bulguları, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı.

Acar D., Çağatay N., Biltekin D., Eriş K., Albut G., Öğretmen N., Arslan T., Sari E., Doppler Tarama Yöntemi Yardımıyla Sediman Karotlarından Ayrıntılı Veri Elde Etme, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı.

Arslan T.N., Eriş K.K., Akkoca D., Çağatay N., Damcı E., Acar D., Geç Pleyistosen-Holosen Hazar Gölü Çökel Kayıtlarında Sedimentolojik ve Jeokimyasal Özellikler, Doğu Anadolu, Türkiye, 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı

Alkaç, O., Eriş, K.K., Erdem, M., Gürocak, Z., Akkoca, D.B., Okan, Ö.Ö., Arslan, T.N., Aslan, Y.. Fırat Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Multi-parametre Göl Çalışmaları. 66 Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2013, Ankara

Akkoca, Bal D., Eriş K.K., Ülgen U. B., Acar D., Arslan, T.N., Daş, B. 2013. Hazar Göl'ü Batısındaki Geç Holosen Sedimanların Kil Mineralojisi ve Jeokimyası (Elazığ, Türkiye), 66. Jeoloji Kurultayı, 2013, Ankara

Eriş K. K., Ülgen U. B., Damcı E., Acar D., Çağatay N., Sancar Ü., Akkoca, Bal D. , Arslan T. N., Gürocak Z., İnceöz M., Okan Ö.Ö., Akçer S., 2013. Hazar Göl'ü, Doğu Anadolu, Türkiye, Geç -Pleyistosen - Holosen Çökel Kayıtlarının Sismik Ve Karot Stratigrafisi, 66. Jeoloji Kurultayı , Ankara, 160-161.

#### ÖDÜLLER

Arslan T.N., Eriş K.K., Akkoca D., Çağatay N., Damcı E., Acar D., “Geç Pleyistosen-Holosen Hazar Gölü Çökel Kayıtlarında Sedimentolojik ve Jeokimyasal Özellikler, Doğu Anadolu, Türkiye”, 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı (2. Poster Ödülü)

Acar D., Çağatay N., Feray Meydan A., Eriş K., Sari E., Akçer S., Makaroglu O., Alkislar H., Biltekin D., Arslan T.N. Detecting to secret folded composite lamina package pairs in cores related slump dump structures and seismites with high resolution sampling of physical parameters, European Geosciences Union EGU) 17-22 Nisan 2016, (1.poster ödülü)



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ  
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA  
ÖĞRENCİ NO : 3002140001  
ÖĞRETİM YILI : 2019-2020  
ANABİLİM DALI/BİLİM DALI : Deniz Jeolojisi Ve Jeofiziği ABD/Deniz Jeolojisi Bilim Dalı  
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS ☐ DOKTORA ☒

TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : Prof. Dr. Erol SARI

II. TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI :

TEZ BAŞLIĞI : GEMLİK VE İZMİT KÖRFEZLERİ AĞIR METAL KİRLİLİK  
TARİHÇESİ VE TEMEL (BACKGROUND) DEĞERLERİNİN KAROT ÇÖKELLERİYLE ARAŞTIRILMASI

**DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,**

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 8/12/2020 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % 10'dur.*

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı *Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını* aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.



Oğrenci Ad-Soyadı

Tarih: 09.12.2020

Tuğçe Nagihan ARSLAN-KAYA

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

**DANIŞMAN ONAYI**  
**UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR**

(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

Prof. Dr. EROL SARI

**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)**

**(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2)** Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

**(Doktora) MADDE 50 – (4)** Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

# Gemlik ve İzmit Körfezleri Ağır Metal Kirlilik Tarihçesi ve Temel (Background) Değerlerinin Karot Çökelleriyle Araştırılması

*Yazar Tuğçe Nagihan Arslan-kaya*

---

**Gönderim Tarihi:** 08-Ara-2020 12:31PM (UTC+0300)

**Gönderim Numarası:** 1468521179

**Dosya adı:** tug\_c\_e-arslan-kaya-dr.doc (830.5K)

**Kelime sayısı:** 20172

**Karakter sayısı:** 126711

# Gemlik ve İzmit Körfezleri Ağır Metal Kirlilik Tarihçesi ve Temel (Background) Değerlerinin Karot Çökelleriyle Araştırılması

ORIJINALLIK RAPORU

|                   |                     |          |                  |
|-------------------|---------------------|----------|------------------|
| %10               | %9                  | %2       | %1               |
| BENZERLİK ENDEKSİ | İNTERNET KAYNAKLARI | YAYINLAR | ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ |

BİRİNCİL KAYNAKLAR

|   |                                                      |     |
|---|------------------------------------------------------|-----|
| 1 | polen.itu.edu.tr<br>İnternet Kaynağı                 | %5  |
| 2 | hdl.handle.net<br>İnternet Kaynağı                   | %1  |
| 3 | www2.cbu.edu.tr<br>İnternet Kaynağı                  | <%1 |
| 4 | www.chemweb.com<br>İnternet Kaynağı                  | <%1 |
| 5 | Submitted to Selçuk Üniversitesi<br>Öğrenci Ödevi    | <%1 |
| 6 | www.eperbis.yildiz.edu.tr<br>İnternet Kaynağı        | <%1 |
| 7 | tr.wikipedia.org<br>İnternet Kaynağı                 | <%1 |
| 8 | openaccess.hacettepe.edu.tr:8080<br>İnternet Kaynağı | <%1 |